



TUGAS AKHIR - TM141585

# **ANALISIS KEGAGALAN *DIE* PADA *IMPACT EXTRUSION ZINC-CAN PROCESS***

AYUNISA FITRIANI JILAN  
NRP. 0211144000011

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. H. C. KIS AGUSTIN, DEA

Departemen Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018





**TUGAS AKHIR - TM141585**

# **ANALISIS KEGAGALAN *DIE* PADA *IMPACT EXTRUSION ZINC-CAN PROCESS***

AYUNISA FITRIANI JILAN  
NRP. 0211144000011

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. H. C. KIS AGUSTIN, DEA

Departemen Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018

*“Halaman ini sengaja dikosongkan.”*



**FINAL PROJECT - TM141585**

# ***FAILURE ANALYSIS OF DIE ON IMPACT EXTRUSION ZINC-CAN PROCESS***

AYUNISA FITRIANI JILAN  
NRP. 0211144000011

Supervisor  
Dr. Ir. H. C. KIS AGUSTIN, DEA

Department of Mechanical Engineering  
Faculty Of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute Of Technology  
Surabaya 2018

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

**ANALISIS KEGAGALAN DIE PADA IMPACT  
EXTRUSION ZINC-CAN PROCESS**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**AYUNISA FITRIANI JILAN**

NRP. 02111440000011

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Ir. H.C.Kis Agustin, D. (Pembimbing)  
NIP. 196308151989032001
2. Dr Eng. Sutikno, ST, MT (Penguji I)  
NIP. 197407032000031001
3. Fahmi Mubarak ST, MSc. (Penguji II)  
NIP. 197801152003121002
4. Indra Sidharta, ST, MSc. (Penguji III)  
NIP. 198006192006041004

**SURABAYA  
JULI, 2018**

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## **ANALISIS KEGAGALAN DIE PADA IMPACT EXTRUSION ZINC-CAN PROCESS**

Nama Mahasiswa : Ayunisa Fitriani Jilan  
NRP : 02111440000011  
Jurusan : Teknik Mesin  
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. H. C. Kis Agustin, DEA

### **Abstrak**

*Die pada penelitian ini merupakan suatu komponen dalam proses manufaktur impact extrusion yang berfungsi sebagai cetakan untuk memperoleh bentuk zinc can. Die ditemukan patah setelah digunakan selama 14 hari dari waktu seharusnya 30 hari. Patahnya die menyebabkan produksi terhenti sementara sehingga mempengaruhi produktivitas. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis kegagalan pada die yang patah untuk menghindari terjadinya kegagalan serupa di kemudian hari.*

*Analisis kegagalan dimulai dengan melakukan observasi awal mengenai fungsi dan cara kerja die serta studi literatur untuk mengumpulkan teori terkait analisis kegagalan. Bentuk dan profil permukaan patahan die diamati secara makroskopik menggunakan kamera digital dan stereo microscope untuk mengetahui profil patahan secara makro. Uji kekerasan dilakukan dengan menggunakan Rockwell hardness tester untuk mengetahui nilai kekerasan die pada potongan melintang dan permukaan atas die. Die diuji komposisi kimianya menggunakan spectrometer dan XRF (X-ray Fluorescence). Pengamatan mikroskopik dilakukan dengan metalografi dan SEM (Scanning Electron Microscope). Daerah crack initiation dilakukan uji EDS (Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy) untuk mengetahui komposisi kimia di daerah tersebut.*

*Dari penelitian pada die yang rusak, dihasilkan kesimpulan bahwa die mengalami patah low cycle fatigue*

*fracture. Patah ini diakibatkan oleh beban yang besar sehingga menghasilkan daerah final fracture yang lebih luas dibandingkan daerah crack propagation. Kerusakan die disebabkan oleh proses operasi yang kurang benar. Blank yang tidak masuk sempurna kedalam lubang cetakan menyebabkan lubang mengalami tekanan berlebih pada satu sisi sehingga timbul crack initiation. Crack initiation yang terjadi lebih dahulu pada die patah 14 hari dibandingkan dengan die patah 30 hari menyebabkan die mengalami patah lebih awal dari umur yang seharusnya (30 hari).*

**Kata Kunci:** Analisis kegagalan, die, fatigue failure, impact extrusion, zinc can.

## ***FAILURE ANALYSIS OF DIE ON IMPACT EXTRUSION ZINC-CAN PROCESS***

Name : Ayunisa Fitriani Jilan  
NRP : 02111440000011  
Departement : Mechanical Engineering  
Student Advisor : Dr. Ir. H. C. Kis Agustin, DEA

### **Abstract**

*Die in this study is a component in the impact extrusion manufacturing process that serves as a mold to obtain the form of zinc can. Die was found to be broken after being used for 14 days from the time it should have been 30 days. The die break causes production to temporarily halt and thus affect productivity. Therefore, it is necessary to analyze failure on a broken die to avoid a similar failure in the future.*

*The failure analysis begins with a preliminary observation of die functions and workings and literature studies to collect theories related to failure analysis. The shape and profile of the die fault surface were observed macroscopically using a digital camera and stereo microscope to determine the macro fracture profile. The hardness test was performed using a Rockwell hardness tester to determine the value of die hardness on the cross section and the top surface of the die. Chemical composition test using a spectrometer and XRF (X-ray Fluorescence). Microscopic observations were performed by metallography and SEM (Scanning Electron Microscope). The crack initiation area was tested by EDS (Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy) to find out the chemical composition in the area.*

*From the research on the broken die, it was concluded that the die broke the low cycle fatigue fracture. This fracture is caused by a large load resulting in a larger final area fracture than the crack propagation area. The die damage is caused by an*

*improper operation process. Blank that did not enter perfect into the hole causing hole excessive pressure on one side so that crack initiation arise. This causes the die to break early.*

*From the research on the broken die, it was concluded that the die had broke because low cycle fatigue fracture. This fracture is caused by a large load resulting in a larger final fracture area than the crack propagation area. The die damage is caused by an improper operation process. This caused the die broke early.*

***Keywords: Die, failure analysis, fatigue failure, impact extrusion, zinc can.***

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan kelulusan pendidikan Sarjana S-1 di Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Penulis menyadari bahwa dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Untuk itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

1. Orangtua dan keluarga penulis.
2. Ibu Dr. Ir. H. C. Kis Agustin, DEA, selaku dosen pembimbing Tugas Akhir.
3. Bapak Dr Eng. Sutikno, ST, MT, Indra Sidharta, ST, MSc. dan Fahmi Mubarak ST, MSc, PhD selaku dosen penguji.
4. Bapak Mat Khoiri dan Bapak Viktor yang sudah banyak membantu penulis.
5. Bapak Ari Kurniawan Saputra, ST, MT selaku dosen wali.
6. Seluruh Karyawan di S-1 Departemen Teknik Mesin ITS
7. Teman seperjuangan tugas akhir yang dibimbing oleh Ibu Kis serta teman-teman di Lab. Metalurgi dan Perpidahan Panas (Laskar Perpan), Deanna, Nabila, Vita, Fasya.
8. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan Tugas Akhir ini. Oleh sebab itu, penulis sangat mengharapkan saran dan masukan dari semua pihak. Penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat dan sumbangsih bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	VII
ABSTRAK .....	IX
ABSTRACT .....	XI
KATA PENGANTAR .....	XIII
DAFTAR ISI.....	XV
DAFTAR GAMBAR .....	XVII
DAFTAR TABEL.....	XXI
 BAB I PENDAHULUAN .....	 1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Penelitian .....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
 BAB II DASAR TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA.....	 5
2.1 Dasar Teori.....	5
2.1.1 Baterai <i>Zinc – Carbon</i> .....	5
2.1.2 <i>Zinc Can</i> .....	6
2.1.3 <i>Impact Extrusion</i> .....	7
2.1.4 <i>Particle Metallurgy High-Speed Tool Steels</i> .....	8
2.1.5 Kegagalan pada <i>Tool</i> dan <i>Die</i> .....	13
2.1.6 <i>Fatigue Fracture</i> .....	15
2.1.7 Permukaan Patahan .....	18
2.2 Tinjauan Pustaka .....	24
 BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	 31
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	31
3.2 Peralatan .....	32
3.3 Sampel Material <i>Die</i> .....	33
3.4 Langkah-langkah Penelitian .....	34
3.4.1 Observasi Lapangan .....	34
3.4.2 Studi Literatur .....	34

3.4.3	Pengambilan Data.....	34
3.4.4	Pengamatan Makroskopik .....	35
3.4.5	Pengujian Kekerasan .....	36
3.4.6	Pengamatan Mikroskopik.....	37
3.4.7	Pengujian Komposisi Kimia.....	38
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN .....		39
4.1	Informasi Mesin <i>Impact Extrusion Zinc Can Process</i> .....	39
4.1.1	Komponen Penyusun dan Spesifikasi.....	39
4.1.2	Proses Pembuatan <i>Zinc Can</i> .....	40
4.2	Informasi <i>Die</i> .....	45
4.2.1	Dimensi .....	45
4.2.2	Material Penyusun .....	46
4.2.3	Kekerasan .....	49
4.3	Pengamatan Makroskopik .....	52
4.3.1	<i>Die</i> patah 14 hari .....	52
4.4.2	<i>Die</i> patah wajar 30 hari.....	59
4.4	Pengamatan Mikroskopik.....	67
4.4.1	Metalografi .....	67
4.4.2	Daerah <i>crack initiation</i> .....	71
4.5	Ringkasan Analisa .....	75
BAB V KESIMPULAN .....		77
5.1	Kesimpulan.....	77
5.2	Saran.....	77
DAFTAR PUSTAKA.....		79
LAMPIRAN .....		81
BIODATA PENULIS.....		XXII



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Lokasi <i>die</i> pada mesin <i>impact extrusion</i> ditunjukkan oleh panah putih. ....	1
Gambar 1.2 Die yang mengalami kegagalan (a) Dua permukaan patahan yang dipisah. (b) patahan tampak atas. (c) Patahan tampak samping. ....	2
 Gambar 2.1 Komponen-komponen yang terdapat didalam baterai <i>zinc-carbon</i> <sup>(1)</sup> .....	5
Gambar 2.2 <i>Zinc Can</i> <sup>(5)</sup> .....	6
Gambar 2.3 Skema proses <i>impact extrusion</i> . (a) <i>Blank</i> dimasukkan ke dalam <i>die</i> bersiap untuk di <i>punch</i> . (b) <i>Blank</i> ditekan oleh <i>punch</i> , kemudian material mengalir pada <i>clearance</i> dengan arah yang berlawanan dengan arah <i>punch</i> . (c) Bentuk yang telah dihasilkan kemudian terlepas dari <i>punch</i> karena tidak bisa melewati <i>stripper plate</i> <sup>(6)</sup> .....	7
Gambar 2.4 Pengaruh <i>alloying element</i> terhadap kekerasan besi dan <i>toughness</i> (a) Efek P, Si, Mn <sup>(9)</sup> . (b) Efek Cu <sup>(10)</sup> .....	9
Gambar 2.5 Mikrostruktur <i>high-speed tool steel</i> . (a) Hasil dari proses konvensional. (b) Hasil dari P/M <sup>(8)</sup> .....	11
Gambar 2.6 Ilustrasi waktu vs temperatur yang menggambarkan urutan yang diperlukan untuk memanaskan <i>high speed tool steel</i> dengan benar <sup>(8)</sup> .....	12
Gambar 2.7 Urutan proses PM dasar berdasarkan anak panah. (a) Peleburan induksi dari komposisi <i>prealloyed tool steel</i> . (b) Atomisasi gas untuk menghasilkan <i>spherical powder</i> yang dipadatkan dengan cepat. (c) <i>Encapsulation powder</i> . (d) Konsolidasi oleh <i>hot isostatic pressing</i> (HIP) <sup>(12)</sup> .....	13
Gambar 2.8 Struktur mikro permukaan akibat proses EDM. <i>White layer</i> ditunjukkan oleh panah hitam <sup>(13)</sup> .....	15
Gambar 2.9 (a) <i>Beach marks</i> pada permukaan patahan <i>fatigue fracture</i> . <i>Crack initiation</i> ditunjukkan oleh panah putih. (b) Ilustrasi terbentuknya <i>ratchet marks</i> <sup>(13)</sup> .....	16

Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	32
Gambar 3.2 <i>Die</i> yang mengalami kegagalan 14 hari. (a) Dua permukaan patahan yang dipisah. (b) Patahan tampak atas. (c) Patahan tampak samping. ....	33
Gambar 3.3 Dua <i>die</i> yang mengalami patah wajar sesuai umurnya yaitu 30 hari. (a) <i>Die</i> pertama dengan patahan tampak depan dan atas. Arah patahan ditunjukkan pada panah hitam. (b) <i>Die</i> kedua dengan patahan tampak depan, atas dan samping. ....	33
Gambar 3.4 Lokasi <i>die</i> pada mesin <i>impact extrusion</i> ditunjukkan oleh panah putih. ....	34
Gambar 3.5 Alat yang digunakan untuk pengamatan makroskopik (a) Kamera digital. (b) <i>Stereo microscope</i> .....	36
Gambar 3.6 Alat uji kekerasan <i>Rockwell Hardness Tester</i> . ....	36
Gambar 3.7 <i>Spectrometer</i> . ....	38
 Gambar 4.1 Mesin <i>Impact Extrusion Zinc Can Process</i> . ....	39
Gambar 4.2 Dimensi <i>die</i> . ....	46
Gambar 4.3 Sampel untuk uji komposisi kimia. (a) Sampel 1 merupakan <i>die</i> patah 14 hari (b) Sampel 2 merupakan <i>die</i> patah wajar sesuai umurnya 30 hari. ....	46
Gambar 4.4 Sampel pengujian kekerasan. Penomoran ditunjukkan untuk mempermudah penamaan. ....	50
Gambar 4.5 Kondisi <i>die</i> yang mengalami patah 14 hari, samping kiri (1), depan (2) dan samping kanan (3) dari <i>die</i> . <i>Chipping</i> yang terjadi pada bagian permukaan <i>die</i> ....	53
Gambar 4.6 Permukaan luar bagian lubang <i>die</i> yang patah tidak rata. (a) tampak samping kiri. (b) tampak depan. (c) tampak samping kanan. ....	54
Gambar 4.7 Permukaan patahan dengan profil patahan yang menunjukkan <i>die</i> patah 14 hari yang mengalami <i>fatigue fracture</i> yang ditandai oleh adanya <i>beach marks</i> . Daerah <i>final fracture</i> ditandai oleh anak panah hitam. ....	55
Gambar 4.8 Permukaan patahan <i>die</i> patah 14 hari. (a) Tanda berbentuk lingkaran yang berada di permukaan atas <i>die</i> sekitar lubang cetakan. (b) Daerah konsentrasi tegangan yang	

ditunjukkan oleh panah merah.Terdapat <i>chipping</i> pada permukaan atas <i>die</i> . (c) Permukaan patahan <i>die</i> patah 14 hari....	56
Gambar 4.9 Permukaan patahan dengan profil patahan yang menunjukkan <i>die</i> patah 14 hari mengalami patah <i>brittle</i> . ....	57
Gambar 4.10 Permukaan atas lubang <i>die</i> patah 14 hari yang membekas akibat <i>zinc blank</i> yang tidak masuk sempurna sehingga sebagian <i>zinc blank</i> menekan sisi lubang <i>die</i> yang ditunjukkan dengan anak panah putih. ....	58
Gambar 4.11 Kondisi <i>die</i> yang mengalami patah wajar 30 hari. (a) Sampel 1 (b) Sampel 2, lingkaran hitam menunjukkan lokasi <i>die</i> yang patah menjadi potongan yang besar.....	60
Gambar 4.12 Pemukaan luar lubang <i>die</i> patah wajar 30 hari yang patah tidak rata (a) Sampel 1. (b) Sampel 2 tampak samping kiri. (c) Sampel 2 tampak depan.(d) Sampel 2 tampak samping kanan. ....	61
Gambar 4.13 Dua permukaan patahan <i>die</i> patah wajar 30 hari dipisah. ....	62
Gambar 4.14 Permukaan patahan dengan profil patahan yang menunjukkan <i>die</i> patah wajar 30 hari yang mengalami <i>fatigue fracture</i> . ....	62
Gambar 4.15 Permukaan patahan dengan profil patahan yang menunjukkan <i>die</i> patah 30 hari yang mengalami <i>fatigue fracture</i> yang ditandai oleh adanya <i>beach marks</i> . Daerah <i>final fracture</i> ditandai oleh anak panah hitam. ....	63
Gambar 4.16 Permukaan patahan <i>die</i> patah 30 hari. (a) Tanda berbentuk lingkaran yang berada di permukaan atas <i>die</i> sekitar lubang cetakan. (b) Daerah konsentrasi tegangan yang ditunjukkan oleh panah merah.Terdapat <i>chipping</i> pada permukaan atas <i>die</i> . (c) Permukaan patahan <i>die</i> patah 30 hari....	64
Gambar 4.17 Permukaan patahan dengan profil patahan yang menunjukkan <i>die</i> patah 30 hari mengalami patah <i>brittle</i> . ....	65
Gambar 4.18 Permukaan atas lubang <i>die</i> patah 30 hari yang membekas akibat <i>zinc blank</i> yang tidak masuk sempurna sehingga sebagian <i>zinc blank</i> menekan sisi lubang <i>die</i> yang ditunjukkan dengan anak panah putih. ....	65

Gambar 4.16 Sampel untuk metalografi. (a) Sampel <i>die</i> patah 14 hari (b) Sampel <i>die</i> patah wajar 30 hari.....	67
Gambar 4.17 Struktur mikro <i>die</i> dengan perbesaran 100x. Panah putih menunjukkan <i>W-rich</i> $M_6C$ carbide sedangkan panah hitam menunjukkan <i>V-rich</i> $MC$ carbide. (b) <i>Die</i> patah 30 hari.....	70
Gambar 4.18 Daerah <i>crack initiation</i> yang diamati dengan SEM. ....	72
Gambar 4.19 Daerah di sekitar <i>crack initiation</i> dilakukan uji EDS dilakukan di 2 area yang ditunjukkan dengan kotak merah. Penomoran ditunjukkan untuk mempermudah penamaan.....	72
Gambar 4.20 Hasil EDS area 1. (a) Lokasi uji EDS pada awal <i>microcrack</i> yang ditandai dengan kotak merah. (b) Terdapat unsur <i>zinc</i> didalam retakan yang ditandai dengan panah hitam dengan jumlah sebesar 8,86%. ....	73
Gambar 4.21 Hasil EDS area 2. (a) Lokasi uji EDS pada <i>macrocrack</i> yang ditandai dengan kotak merah. (b) Terdapat unsur <i>zinc</i> didalam retakan yang ditandai dengan panah hitam dengan jumlah sebesar 3,74%. ....	74

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Pengaruh unsur-unsur kimia terhadap sifat mekanik <i>high-speed tool steel</i> <sup>(8)</sup> .....	8
Tabel 2.2 Efek negatif unsur terhadap sifat mekanik <i>high-speed tool steel</i> <sup>(8)</sup> .....	10
Tabel 2.3 Urutan perlakuan panas untuk <i>high-speed tool steel</i> <sup>(8)</sup> .....	11
Tabel 2.4 Faktor yang mempengaruhi kegagalan pada <i>tool</i> dan <i>die</i> <sup>(13)</sup> .....	13
Tabel 2.5 Mekanisme dari <i>Fatigue Fracture</i> <sup>(13)</sup> .....	17
Tabel 2.6 Beberapa tanda/ indikasi yang terdapat di permukaan patahan yang terlihat secara makroskopik <sup>(13)</sup> .....	19
Tabel 2.7 Beberapa tanda/ indikasi yang terdapat di permukaan patahan yang terlihat secara mikroskopik <sup>(13)</sup> .....	23
Tabel 2.8 Tinjauan pustaka untuk jurnal 1 <sup>(17)</sup> .....	25
Tabel 2.9 Tinjauan pustaka untuk jurnal 2 <sup>(18)</sup> .....	27
 Tabel 3.1 Rancangan pengambilan data.....	 35
Tabel 3.2 Rancangan pengamatan makroskopik.....	36
Tabel 3.3 Rancangan pengujian kekerasan dengan <i>Rockwell hardness tester</i> .....	37
Tabel 3.4 Rancangan pengamatan mikroskopik.....	37
 Tabel 4.1 Spesifikasi Mesin <i>Impact Extrusion Zinc Can Process</i> .....	 39
Tabel 4.2 Proses Pembuatan <i>Zinc Can</i> .....	40
Tabel 4.3 Dimensi <i>die</i> pada <i>impact extrusion zinc can process</i> .....	45
Tabel 4.4 Hasil uji komposisi kimia serta komposisi kimia standar material DEX 40 ASM <i>Handbook</i> . Sampel 1 <i>die</i> patah 14 hari dan sampel 2 <i>die</i> patah wajar sesuai umurnya yaitu 30 hari. <sup>(12)</sup> .....	47
Tabel 4.5 Data hasil pengujian kekerasan. Sampel 1 merupakan <i>die</i> patah 14 hari dan sampel 2 merupakan <i>die</i> patah wajar sesuai umurnya 30 hari. ....	51

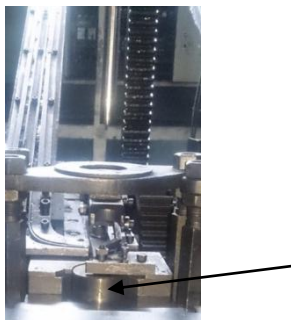
*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB I PENDAHULUAN

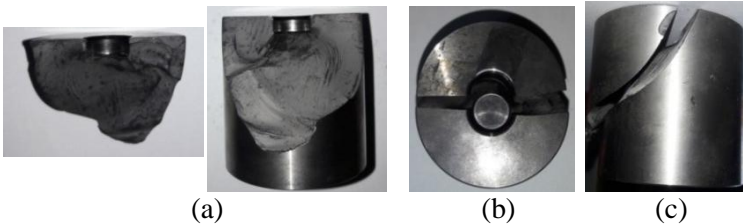
### 1.1 Latar Belakang

Proses *forming* merupakan salah satu proses manufaktur untuk membuat suatu komponen. Salah satu proses forming adalah *impact extrusion*. Proses *impact extrusion* merupakan proses manufaktur komponen yang berongga dan berdinding tipis. Proses ini merupakan proses yang digunakan secara global dalam membuat *zinc can*. Bentuk dari *zinc can* ditentukan oleh bentuk *die*.

Pembuatan *die* dirancang sesuai dengan geometri dan toleransi yang telah ditentukan. *Die* kemudian didesain untuk digunakan dalam periode waktu yang telah ditentukan berdasarkan kekuatan material dan beban yang diberikan. *Die* pada proses *impact extrusion* didesain untuk kuat menahan tegangan yang terjadi. Kenyataannya, kegagalan *die* terkadang berlangsung secara tiba-tiba dan diluar prediksi yang telah direncanakan meskipun telah didesain sesuai dengan kebutuhan. Ketika proses produksi berlangsung, *die* ditemukan patah pada salah satu mesin. Lokasi *die* pada mesin ditunjukkan pada Gambar 1.1. Kondisi dari *die* yang patah tersebut ditunjukkan pada Gambar 1.2



Gambar 1.1 Lokasi *die* pada mesin *impact extrusion* ditunjukkan oleh panah hitam.



Gambar 1.2 Die yang mengalami kegagalan (a) Dua permukaan patahan yang dipisah. (b) patahan tampak atas. (c) Patahan tampak samping.

Patah pada *die* mempengaruhi produktifitas, yaitu proses produksi yang terhenti sementara dan rencana produksi yang terganggu. Hal ini menyebabkan hasil produksi menurun. Pendapatan yang berkurang ditambah dengan biaya penggantian *die* yang patah menyebabkan kerugian bagi perusahaan. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis kegagalan pada *die* yang patah untuk menghindari terjadinya kegagalan serupa di kemudian hari.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari analisis kegagalan ini adalah mencari penyebab dan mekanisme kegagalan yang terjadi pada *die* dari mesin proses *impact extrusion* pembuatan *zinc can*

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari analisis kegagalan ini adalah mengetahui penyebab dan mekanisme kegagalan yang terjadi pada *die* dari mesin proses *impact extrusion* pembuatan *zinc can*.

## 1.4 Batasan Penelitian

Agar masalah dapat diselesaikan dengan baik, diperlukan batasan-batasan dan asumsi penelitian yaitu: Komponen yang dapat diobservasi hanya berupa *die* yang rusak.



### **1.5 Manfaat Penelitian**

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan sumbangsih bagi dunia ilmu pengetahuan yaitu:

1. Bagi dunia industri manufaktur, dengan adanya analisa kegagalan ini, diharapkan dapat dijadikan acuan atau pertimbangan dalam pencegahan dan perawatan untuk menghindari kegagalan yang serupa.
2. Bagi civitas akademika khususnya mahasiswa, dengan adanya studi analisa kegagalan ini diharapkan mampu mengaplikasikan dan memahami ilmu yang telah didapatkan untuk memecahkan masalah kegagalan pada komponen tersebut.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

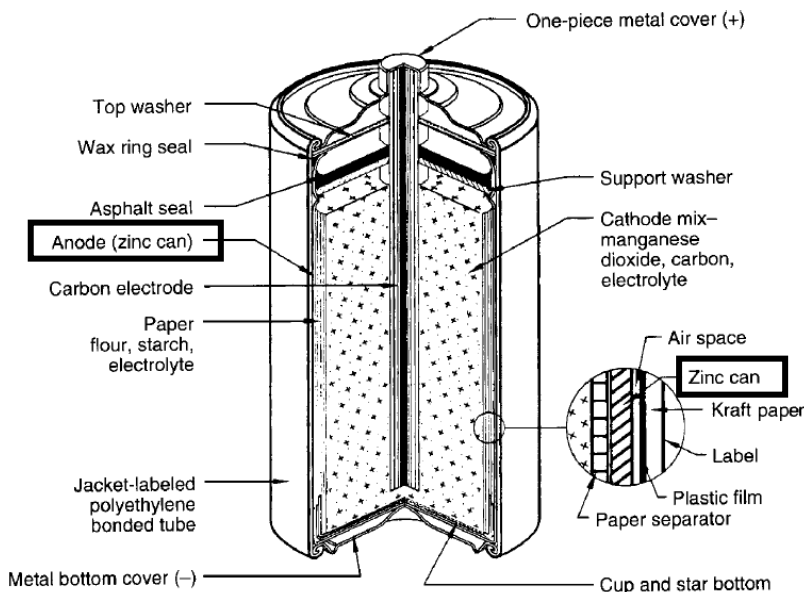
## BAB II

### DASAR TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Dasar Teori

##### 2.1.1 Baterai Zinc – Carbon

Baterai adalah perangkat yang mengubah energi kimia yang terkandung dalam bahan aktifnya secara langsung menjadi energi listrik melalui reaksi elektrokimia reduksi-oksidasi (redoks). Baterai *zinc-carbon* menggunakan Zn sebagai anoda,  $\text{MnO}_2$  sebagai katoda dan *ammonium chloride* ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) / *zinc chloride* ( $\text{ZnCl}_2$ ) sebagai elektrolitnya. Konstruksi baterai *zinc-carbon* dapat dilihat pada Gambar 2.1<sup>(1)</sup>.



Gambar 2.1 Komponen-komponen yang terdapat didalam baterai *zinc-carbon*<sup>(1)</sup>.

### 2.1.2 Zinc Can

*Zinc can* merupakan komponen berbentuk silinder berongga dan berdinding tipis (*can*) pada baterai *zinc carbon* yang berfungsi sebagai anoda (kotak hitam pada Gambar 2.1). Gambar *zinc can* ditunjukkan pada Gambar 2.2. *Zinc can* mengandung 99,99% *zinc* <sup>(1)</sup>. *Zinc* merupakan logam yang cukup lunak dengan nilai kekerasan sebesar 2,5 berdasarkan skala Mohs (VHN = 60) <sup>(2)</sup>. Logam ini tampak putih kebiruan dengan permukaan mengkilap. Titik leleh logam ini adalah 787,1 °F (419,5 °C) <sup>(3)</sup>.

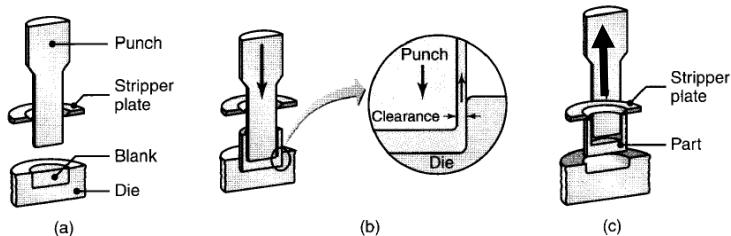
*Zinc* bersifat *brittle* dan tidak dapat dibentuk dengan proses *pressing* menjadi bentuk lain tanpa timbul *crack* (tidak *malleable*) pada temperatur ruang. Logam ini menjadi sedikit *malleable* jika dipanaskan hingga temperatur diatas 212 °F (100 °C) <sup>(3)</sup>. Penambahan Pb (*Lead*) dan Cd (*Cadmium*) diperlukan dalam jumlah yang sedikit (kurang dari 1%) dalam pembuatan *zinc can* <sup>(4)</sup>. Pb (*Lead*) yang bersifat *ductile* dan *malleable* membantu meningkatkan *formability* sehingga *zinc can* menjadi lebih lunak dan mudah dibentuk, sedangkan Cd (*Cadmium*) meningkatkan *stiffening strength* pada paduan. Penggunaan Cd (*Cadmium*) dapat digantikan dengan Mn (*Manganese*) karena memiliki fungsi yang serupa.



Gambar 2.2 *Zinc Can* <sup>(5)</sup>.

### 2.1.3 *Impact Extrusion*

*Impact extrusion* merupakan proses manufaktur untuk membuat komponen yang berongga dan berdinding tipis. Proses yang terjadi adalah sebagai berikut: *punch* bergerak secara cepat menekan *blank* yang terdapat di *die*. Akibat *constant volume* pada *blank* menyebabkan material mengalir pada celah diantara *punch* dan *die* (*clearance*) berlawanan dengan arah *punch* <sup>(6)</sup>. Benda yang telah dibentuk kemudian terlepas dari *punch* karena tidak bisa melewati *stripper plate*. Pada proses ini, bentuk dari benda kerja dipengaruhi oleh *punch* dan *clearance*. Proses ini ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Skema proses *impact extrusion*. (a) *Blank* dimasukkan ke dalam *die* bersiap untuk di *punch*. (b) *Blank* ditekan oleh *punch*, kemudian material mengalir pada *clearance* dengan arah yang berlawanan dengan arah *punch*. (c) Bentuk yang telah dihasilkan kemudian terlepas dari *punch* karena tidak bisa melewati *stripper plate* <sup>(6)</sup>.

Proses *impact extrusion* digunakan untuk membuat *zinc can*. Proses ini dikategorikan sebagai proses *warm forging* karena *blank* terlebih dahulu di panaskan hingga temperatur dibawah temperatur rekristalisasi. Pemanasan *blank* dilakukan untuk menurunkan *flow stress* dan tekanan yang terjadi ketika proses pembentukan *zinc can*. *Blank* dipanaskan hingga temperatur sekitar 300°F (150°C) <sup>(7)</sup>.

### 2.1.4 *Particle Metallurgy High-Speed Tool Steels*

*High-speed tool steel* merupakan baja paduan yang mampu digunakan pada mesin *cutting* berkecepatan tinggi. Baja ini merupakan *complex iron-base alloy* yang terdiri dari *carbon* (C), *chromium* (Cr), *vanadium* (V), *molybdenum* (Mo), *tungsten* (W) dan *cobalt* (Co). Pengaruh yang diberikan oleh masing-masing unsur kimia dijelaskan pada Tabel 2.1.

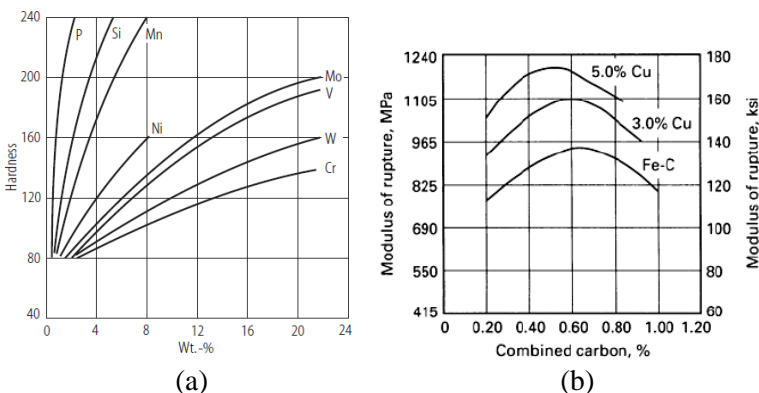
*High-speed tool steel* membutuhkan kekerasan yang tinggi karena *tool* ini akan digunakan untuk membuat komponen lain. Kekerasan tentunya harus diimbangi dengan *toughness* supaya *tool* tidak mudah pecah atau *crack*. Kemampuan penting lain yang harus dimiliki ialah *hot hardness*. Gesekan yang ditimbulkan antara *tool* dan benda kerja saat operasi menimbulkan panas yang merubah nilai kekerasan *tool*. *Hot hardness* dibutuhkan untuk mempertahankan kekerasannya pada suhu tinggi. Ketahanan aus juga harus dimiliki oleh *high-speed tool steel* supaya *tool* memiliki ketahanan terhadap abrasi ketika operasi. Kandungan yang seimbang antara *carbon* dan paduan lainnya membuat *high-speed tool steel* memiliki kekerasan, ketahanan aus dan *hot hardness* yang tinggi serta *toughness* yang baik <sup>(8)</sup>.

Tabel 2.1 Pengaruh unsur-unsur kimia terhadap sifat mekanik *high-speed tool steel* <sup>(8)</sup>.

Nama	Efek terhadap sifat mekanik
<i>Carbon</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Meningkatkan kekerasan.</li> <li>- Meningkatkan <i>hot hardness</i>.</li> <li>- Meningkatkan jumlah karbida yang keras, stabil dan kompleks. Hal ini meningkatkan ketahanan aus.</li> </ul>
<i>Chromium</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Umumnya berjumlah 4% untuk menyeimbangkan kekerasan dan <i>toughness</i></li> <li>- Mengurangi oksidasi dan <i>scaling</i> yang terjadi ketika proses perlakuan panas.</li> </ul>

Nama	Efek terhadap sifat mekanik
<i>Tungsten</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Meningkatkan ketahanan aus</li> <li>- Meningkatkan <i>hot hardness</i>.</li> </ul>
<i>Molybdenum</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Meningkatkan <i>toughness</i>.</li> <li>- Menurunkan <i>hot hardness</i>.</li> </ul>
<i>Vanadium</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Meningkatkan <i>cutting efficiency</i>.</li> <li>- Meningkatkan jumlah karbida yang keras, stabil dan kompleks. Hal ini meningkatkan ketahanan aus.</li> </ul>
<i>Cobalt</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Meningkatkan <i>hot hardness</i>.</li> <li>- Meningkatkan <i>cutting efficiency</i>.</li> <li>- Meningkatkan sifat <i>brittle</i>.</li> </ul>

Beberapa unsur yang memiliki efek negatif terhadap paduan ialah P, Si dan Mn. Kadar unsur ini harus dijaga berada pada nilai minimum. Penambahan sedikit dari unsur tersebut dapat mempengaruhi nilai kekerasan dan *toughness* paduan yang ditunjukkan pada Gambar 2.4. Beberapa efek yang ditimbulkan dijelaskan pada Tabel 2.2 dibawah ini.



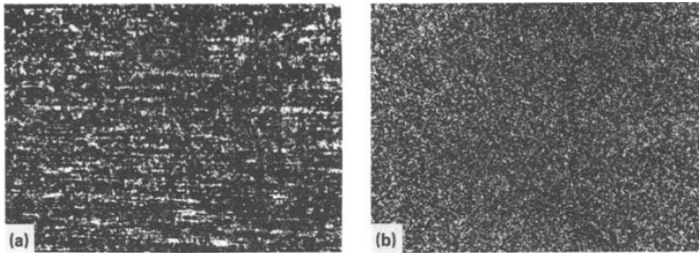
Gambar 2.4 Pengaruh *alloying element* terhadap kekerasan besi dan *toughness* (a) Efek P, Si, Mn<sup>(9)</sup>. (b) Efek Cu<sup>(10)</sup>.

Tabel 2.2 Efek negatif unsur terhadap sifat mekanik *high-speed tool steel* <sup>(8)</sup>.

Nama	Efek terhadap sifat mekanik
<i>Phosphorus</i> (P)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menyebabkan <i>cold shortness</i></li> <li>- Menyebabkan <i>room-temperature brittleness</i></li> </ul>
<i>Silicon</i> (Si)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Penurunan sedikit demi sedikit dalam <i>toughness</i>.</li> <li>- Secara umum kadarnya berada dibawah 0,45% (max 0,5%)</li> </ul>
<i>Manganese</i> (Mn)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Meningkatkan <i>brittleness</i></li> <li>- Meningkatkan <i>cracking</i> ketika <i>quenching</i>.</li> <li>- Kadar maksimal 0,3%</li> </ul>

*High-speed tool steel* dibuat dengan cara konvensional atau *powder metallurgy* (P/M) P/M merupakan proses manufaktur yang digunakan untuk membuat *steel* dengan menggunakan *powder* (partikel yang sangat halus) sebagai bahan bakunya. Proses ini memiliki kelebihan dibandingkan dengan proses konvensional. Proses konvensional menghasilkan paduan yang mengandung mikrostruktur kasar (*coarse*) dan tidak *uniform* disertai dengan ukuran *grain* yang sulit di kontrol dan nilai kekerasan yang tidak seragam ketika diberi perlakuan panas. P/M menghasilkan paduan dengan struktur mikro yang sangat halus disertai karbida MC dan inklusi non-logam yang terdistribusi secara *uniform*. Mikrostruktur *high-speed tool steel* antara cara konvensional dengan P/M ditunjukkan pada Gambar 2.5 <sup>(11)</sup>.





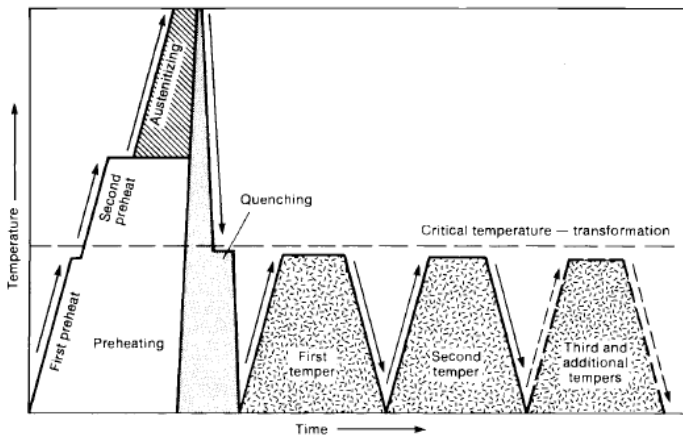
Gambar 2.5 Mikrostruktur *high-speed tool steel*. (a) Hasil dari proses konvensional. (b) Hasil dari P/M <sup>(8)</sup>.

*Tool steel* selanjutnya membutuhkan perlakuan panas yang tepat untuk mendapatkan sifat mekanik yang lebih baik. P/M *high-speed tool steel* merespon lebih cepat dan dengan prediktabilitas yang lebih baik terhadap perlakuan panas yang diberikan karena mikrostruktur yang lebih seragam dan ukuran karbida yang lebih halus. Urutan perlakuan panas untuk *high-speed tool steel* dijelaskan oleh Tabel 2.3 dan ilustrasi waktu vs temperatur perlakuan panas yang dilakukan ditunjukkan pada Gambar 2.6 <sup>(8)</sup>.

Tabel 2.3 Urutan perlakuan panas untuk *high-speed tool steel* <sup>(8)</sup>.

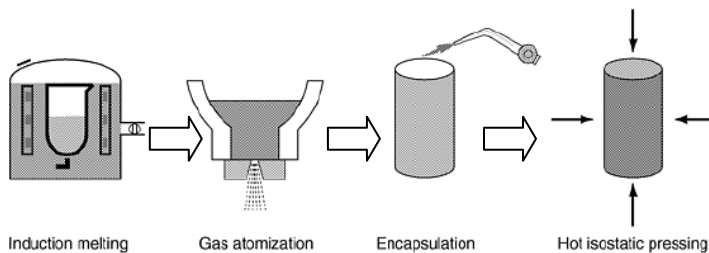
No	Perlakuan Panas	Prosedur
1	<i>Preheating</i>	<i>Preheat</i> dilakukan sebanyak dua langkah. <i>Preheat</i> pertama pada temperatur antara 650°C dan 760°C. <i>Preheat</i> kedua pada temperatur antara 815°C dan 900°C. <i>Furnance</i> juga dipanaskan secara perlahan pada temperatur 790°C hingga 845°C.
2	<i>Austenizing (hardening)</i>	<i>Austenizing</i> dilakukan pada temperatur antara 1150°C hingga 1290°C. <i>Hold time</i> (secara umum) adalah 2 menit hingga 6 menit.

No	Perlakuan Panas	Prosedur
3	<i>Quenching</i>	<i>Quenching</i> dilakukan sebanyak dua langkah. <i>Quenching</i> pertama dengan <i>molten salt bath</i> pada temperatur antara 540°C hingga 595°C atau dengan <i>oil</i> . <i>Quenching</i> kedua dengan pendinginan udara pada temperatur <i>ambient</i> .
4	<i>Tempering</i>	Paduan dipanaskan hingga temperatur 540°C. Proses ini diulang sebanyak dua atau empat kali selama masing-masing 2 hingga 4 jam. Pendinginan selanjutnya dilakukan hingga temperatur kamar. Proses pendinginan masing-masing dilakukan setelah proses <i>tempering</i> .



Gambar 2.6 Ilustrasi waktu vs temperatur yang menggambarkan urutan yang diperlukan untuk memanaskan *high speed tool steel* dengan benar <sup>(8)</sup>.

*Particle metallurgy* (PM) merupakan metode pembuatan *tool steel* yang saat ini digunakan sebagai metode manufaktur utama untuk pengembangan dan produksi *high-alloy tool steels* dan *tooling composites*. PM menggunakan P/M di mana bubuk (*powder*) *gas-atomized* dan *prealloyed* dikonsolidasikan hingga kepadatan penuh dengan *hot isostatic pressing* (HIP) menjadi *billet*. *Billet* kemudian di *hot forging* sesuai dimensi *tool steel* yang dibutuhkan. Proses PM ditunjukkan pada Gambar 2.7. PM *tool steel* diproduksi dan didistribusikan secara internasional oleh sejumlah pabrik baja khusus menggunakan berbagai nama dagang. Salah satu nama dagang yang digunakan adalah DEX<sup>(12)</sup>.



Gambar 2.7 Urutan proses PM dasar berdasarkan anak panah. (a) Peleburan induksi dari komposisi *prealloyed tool steel*. (b) Atomisasi gas untuk menghasilkan *spherical powder* yang dipadatkan dengan cepat. (c) *Encapsulation powder*. (d) Konsolidasi oleh *hot isostatic pressing* (HIP)<sup>(12)</sup>

### 2.1.5 Kegagalan pada *Tool* dan *Die*

Kegagalan pada *die* dapat disebabkan oleh beberapa faktor yang ditunjukkan pada Tabel 2.4.

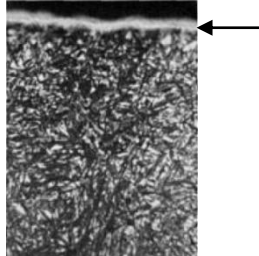
Tabel 2.4 Faktor yang mempengaruhi kegagalan pada *tool* dan *die*<sup>(13)</sup>.

Faktor	Parameter keberhasilan
<i>Mechanical Design</i>	- Sesuai dengan grade baja yang telah dipilih.
	- Sesuai dengan kegunaan yang dibutuhkan.

Faktor	Parameter keberhasilan
<i>Grade Selection</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sesuai dengan desain yang telah dibuat.</li> <li>- Sesuai dengan proses manufaktur yang digunakan.</li> <li>- Sesuai dengan kondisi operasi dan umur pemakaian yang dibutuhkan.</li> </ul>
<i>Steel Quality</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bersifat kuat (secara makrostruktural).</li> <li>- Bebas dari inklusi dan cacat permukaan.</li> </ul>
<i>Machining Processes</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mikrostruktur dan <i>surface finish</i> tidak berubah.</li> <li>- Tidak terdapat tegangan sisa yang berlebihan.</li> </ul>
<i>Heat-treatment operations</i>	Menghasilkan mikrostruktur, kekerasan, ketangguhan dan <i>hardenability</i> yang dibutuhkan.
<i>Grinding and Finishing Operations</i>	Tidak mengganggu integritas permukaan.
<i>Tool and Die Setup</i>	Pemasangan yang sesuai untuk menghindari <i>misalignment</i> yang dapat mempercepat keausan dan menyebabkan <i>crack</i> .
<i>Tool and Die Operation</i>	Operasi tidak berlebihan dan sesuai desain.

Salah satu faktor yang mempengaruhi kegagalan pada *die* adalah *machining process*. Proses permesinan yang digunakan untuk membuat lubang *die* pada *high-carbon tool steel* adalah proses *Electrical Discharge Machining* (EDM) <sup>(8)</sup>. EDM adalah proses manufaktur yang berfungsi untuk memotong logam dengan bunga api (*sparks*). *Sparks* bergerak melalui cairan dielektrik (biasanya *light oil*) pada jarak yang terkontrol. Logam dipanaskan hingga temperatur diatas temperatur lelehnya oleh *sparks* kemudian logam yang telah terpotong didinginkan cepat oleh cairan dielektrik

Pendinginan cepat pada proses EDM menyebabkan terbentuknya *layer* di permukaan *die*. *Layer* ini adalah *white layer* dan *heat affected zone* (HAZ). *White layer* memiliki ketebalan dari 0,005 mm (*finishing cuts*) hingga 0,08 mm (*roughing cuts*)<sup>(13)</sup>. *White layer* bersifat sangat keras dan *brittle* sehingga memungkinkan menjadi lokasi *crack initiation*. *White layer* ditunjukkan pada Gambar 2.8. HAZ merupakan *layer* yang terpapar panas selama proses EDM dan terletak dibawah *white layer*. HAZ memiliki ketebalan dari 0,05 mm (*finishing cuts*) hingga 0,8 mm (*roughing cuts*). *Layer* ini bersifat lunak karena memiliki mikrostruktur *overtempered martensite*. Kedua *layer* yang dihasilkan ini menurunkan ketahanan *thermal-fatigue*<sup>(14)</sup>.



Gambar 2.8 Struktur mikro permukaan akibat proses EDM. *White layer* ditunjukkan oleh panah hitam<sup>(13)</sup>.

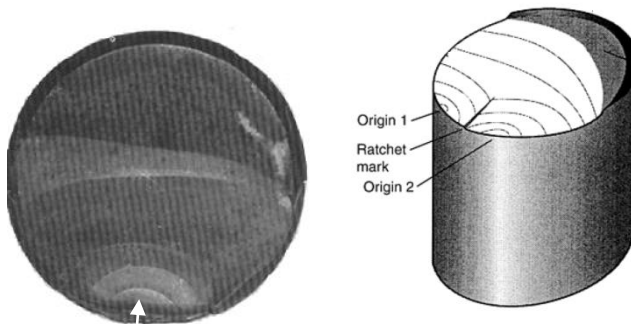
Kegagalan yang terjadi umumnya disebabkan oleh kegagalan dalam membuang *white layer* dan *overtempered layer* di permukaan lubang *die*. *White layer* yang bersifat *brittle* dapat menjadi daerah *crack initiation*. *Crack* tersebut menjadi awal dari kegagalan. Lubang *die* perlu dilakukan *grinding* dan *tempering* untuk menghilangkan lapisan tersebut sehingga kegagalan dapat dihindari.

### 2.1.6 Fatigue Fracture

*Fatigue fracture* atau patah lelah merupakan patah yang terjadi akibat dari pembebanan siklik dengan beban yang diberikan berada dibawah beban *yield* material tersebut. Karakteristik dari pola patah ini ialah adanya retak awal yang

merambat hingga luas penampang berkurang. Luas penampang yang berkurang ini tetap menerima beban yang sama sehingga menyebabkan ketidakmampuan menerima beban maksimal. Perambatan retak terjadi secara cepat yang berujung pada *failure*. Secara makroskopik, *fatigue fracture* ditandai dengan adanya *beach marks* <sup>(13)</sup>.

*Beach marks* merupakan tanda makroskopik yang biasanya ditemukan pada permukaan patahan *fatigue fracture*. Tanda ini berbentuk elips yang tidak beraturan atau semielips yang berpusat pada *crack initiation* <sup>(13)</sup>. *Beach marks* ditunjukkan pada Gambar 2.9.



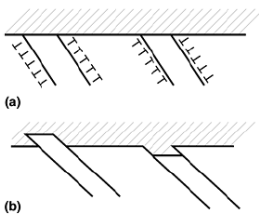
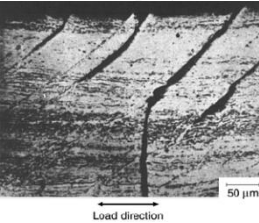
Gambar 2.9 (a) *Beach marks* pada permukaan patahan *fatigue fracture*. *Crack initiation* ditunjukkan oleh panah putih. (b) Ilustrasi terbentuknya *ratchet marks* <sup>(13)</sup>.

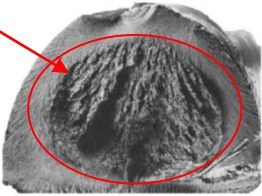
Ketika tegangan besar terjadi, akan muncul fenomena *multiple crack initiation*. *Beach marks* yang terbentuk dari banyak *crack initiation* akan saling bertemu dan membentuk garis *ratchet marks*. Garis *ratchet marks* tersebut paralel dengan arah *crack propagation*. *Ratchet marks* merupakan indikator penting untuk menentukan lokasi dari *crack initiation*. Ilustrasi terbentuknya *ratchet marks* ditunjukkan pada Gambar 2.9.

Mekanisme dari *fatigue fracture* itu sendiri terdiri dari tiga tahap, yaitu *crack initiation* (tahap 1), *crack propagation*

(tahap 2) dan *final fracture* (tahap 3) yang dijelaskan pada Tabel 2.5 sebagai berikut.

Tabel 2.5 Mekanisme dari *Fatigue Fracture* <sup>(13)</sup>.

No	Tahap	Penjelasan
1	<p><i>Crack Initiation</i></p>  <p>Gambar (a) Terjadi <i>cyclic slip</i> di permukaan (b) Terbentuk <i>extrusion</i> dan <i>intrusion</i> <sup>(15)</sup>.</p>	<p>Tahap-tahap pada fasa ini:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Terjadi <i>cyclic slip</i> pada permukaan karena pergerakannya tidak dibatasi oleh batas butir.</li> <li>2. <i>Slip</i> yang terjadi karena <i>shear stress</i> menghasilkan <i>extrusion</i> dan <i>intrusion</i> dengan sudut 45° terhadap sumbu utama tegangan (gaya <i>shear</i> maksimal pada benda bekerja pada sudut 45°).</li> <li>3. Terbentuk inti retak (<i>crack nucleation</i>)</li> <li>4. Inti retak mikro ini kemudian merambat (<i>growth of microcrack</i>)</li> </ol>
2	<p><i>Crack Propagation</i></p>  <p>Gambar perubahan arah patah dari tahap I (bagian atas foto) ke tahap II (bawah).</p>	<p>Tahap-tahap pada fasa ini:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Retak makroskopik menyebar secara tegak lurus terhadap tegangan tarik maksimal. Laju dan arah perambatan di <i>control</i> oleh <i>local stress</i> dan struktur material yang ada di ujung retak.</li> <li>2. Retak yang sudah merambat akhirnya</li> </ol>

No	Tahap	Penjelasan
		<p>menjadi konsentrasi tegangan yang paling berpengaruh. Ujung retak tersebut menentukan arah patahan.</p> <p>3. Pertumbuhan retak terjadi hingga sisa luas penampang mencapai luasan kritis.</p>
3	<p><i>Final Fracture</i></p>  <p>Gambar daerah <i>final fracture</i> ditunjukkan oleh lingkaran merah.</p>	<p>Ketika luasan kritis tercapai maka komponen tidak dapat lagi menerima beban maksimal sehingga menyebabkan <i>overload fracture</i>. <i>Final fracture</i> dapat berupa patah <i>brittle</i>, <i>ductile</i> atau kombinasi keduanya.</p>

### 2.1.7 Permukaan Patahan

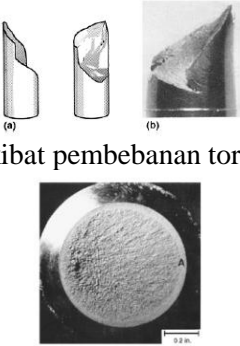
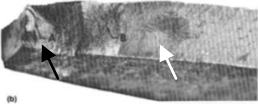
Permukaan patahan diamati untuk mengetahui pola patahan secara makroskopik ataupun mikroskopik untuk menentukan proses patah yang terjadi. Terdapat dua jenis patahan utama. Pertama, *failure* yang terjadi seketika itu juga (*instantaneous failure mode*). *Brittle* dan *ductile overload* termasuk ke dalam proses patahan ini. Kedua, *failure* yang terjadi setelah jangka waktu tertentu (*progressive failure mode*) ketika kekuatannya sudah berkurang akibat adanya *crack*. *Fatigue* termasuk ke dalam proses patahan ini. Profil patahan secara makroskopik dan mikroskopik ditunjukkan pada Tabel 2.6 dan 2.7.

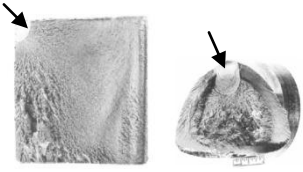
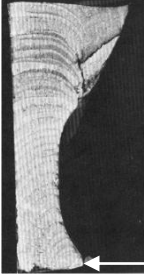
*Beach marks* dan striasi merupakan tanda adanya indikasi *fatigue*. *Beach marks* dapat dilihat secara makroskopik sedangkan

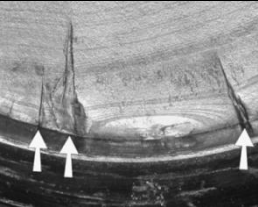
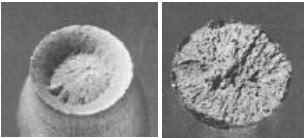



striasi dilihat secara mikroskopik. Striasi terkadang tidak terlihat. Untuk *ductile overload* ditunjukkan dengan adanya perubahan ketinggian sepanjang penampang potongan melintang pada permukaan patahan yang terlihat secara makro (adanya *shear lips*). Sedangkan pada *brittle overload*, permukaan patahannya tegak lurus dengan arah beban yang di berikan dan tidak ada deformasi yang terjadi. Selain itu, terdapat pola patahan gabungan (*mixed-mode appearance*). Pola patahan ini menunjukkan adanya transisi dari *brittle* ke *ductile* ataupun sebaliknya <sup>(13)</sup>.

Tabel 2.6 Beberapa tanda/ indikasi yang terdapat di permukaan patahan yang terlihat secara makroskopik <sup>(13)</sup>.

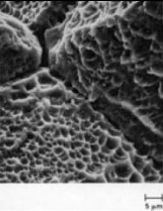
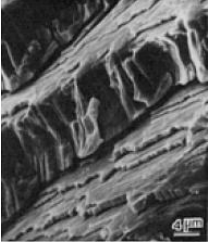
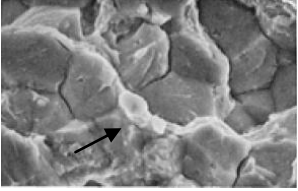
Tanda/indikasi	Gambar	Implikasi
<p>Terdapat perbedaan bentuk patahan akibat pengaruh geometri komponen dan kondisi pembebanan.</p>	 <p>Akibat pembebanan torsi.</p> <p>Akibat pembebanan <i>tensile</i>.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Membedakan antara pembebanan mode I (<i>opening</i>), II (<i>in-plane shear</i>) atau III (<i>out-of-plane shear</i>).</li> <li>- Identifikasi secara makroskopik patahan <i>ductile</i> dan <i>brittle</i>.</li> </ul>
<p>Terdapat dua profil patahan yaitu <i>shear lips</i> dan <i>flat surface</i></p>	 <p><i>Flat surface</i> ditandai dengan huruf A (panah hitam) dan <i>shear lips</i> ditandai dengan huruf B (panah putih).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Arah perambatan <i>crack</i> paralel dengan <i>shear lips</i>.</li> <li>- <i>Mixed-mode fracture</i>.</li> </ul>

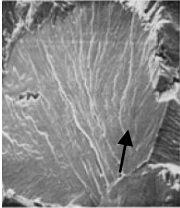
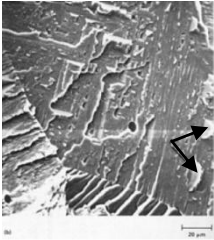
Tanda/indikasi	Gambar	Implikasi
Terdapat ujung retak yang tajam.		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Indikasi pembebanan siklik.</li> <li>- Indikasi adanya proses yang tidak sempurna, contoh : <i>shot peening</i>, <i>quench crack</i>.</li> </ul>
Terdapat <i>radial marks</i> dan <i>chevrons</i> (v-shape)	 <p>(a) (b)</p> <p>Awal <i>crack</i> ditunjukan oleh panah hitam. (a) <i>Radial marks</i>. (b) <i>Chevron marks</i>.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menunjukan awal <i>crack</i>.</li> <li>- Menunjukan arah perambatan <i>crack</i>.</li> </ul>
Terdapat <i>beach</i> atau <i>conchoidal marks</i> (akibat pembebanan siklik)	 <p>Pusat radius kelengkungan <i>beach marks</i> ditandai dengan panah putih.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Indikasi pembebanan siklik.</li> <li>- Perambatan <i>crack</i> dari pusat radius kelengkungan.</li> </ul>

Tanda/indikasi	Gambar	Implikasi
<p>Terdapat <i>ratchet marks</i></p>	 <p><i>Ratchet marks</i> ditandai dengan panah putih.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Indikasi kuat pembebanan siklik.</li> <li>- Indikasi lokasi awal <i>crack</i>.</li> </ul>
<p>Terdapat pantulan cahaya yang berbeda.</p>	 <p>(a) (b) Pantulan cahaya yang berbeda. (a) Patahan <i>ductile</i>. (b) Patahan <i>brittle</i>.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gelap : patahan <i>ductile</i> atau pembebanan siklik.</li> <li>- Mengkilap : <i>cleavage</i> (indikasi patahan <i>brittle</i>)</li> <li>- Bergelombang dan mengkilap : patah <i>intergranular</i> yang terjadi pada butir yang besar.</li> </ul>
<p>Terdapat gerusan (pada lokasi tertentu)</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Indikasi <i>crack closure</i> pada pembebanan siklik.</li> <li>- Merupakan model pengganti dari <i>beach marks</i>.</li> </ul>

Tanda/indikasi	Gambar	Implikasi
<p>Terdapat perbedaan kekasaran</p>	 <p>Perubahan kekasaran permukaan karena perambatan retak ditunjukkan oleh arah panah hitam.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kekerasan meningkat sesuai dengan arah perambatan retak : Adanya momen bending dari daerah yang mendapat tegangan kompresif kemudian <i>crack</i> berpindah ke daerah ini.</li> <li>- Terdapat daerah halus dan daerah kasar sesuai dengan arah perambatan retak : Indikasi pembebanan siklik.</li> <li>- Daerah yang kasar merupakan patahan <i>ductile</i>.</li> <li>- Indikasi adanya transisi dari perambatan <i>fatigue crack</i> ke <i>overload</i>.</li> </ul>

Tabel 2.7 Beberapa tanda/ indikasi yang terdapat di permukaan patahan yang terlihat secara mikroskopik <sup>(13)</sup>.

Tanda/indikasi	Gambar	Implikasi
<i>Dimpled fracture surface</i>	 <p>Gambar yang menunjukkan bentuk lesung (<i>dimple</i>) <sup>(16)</sup>.</p>	Patah <i>ductile</i> karena <i>overload</i> .
<i>Faceted fracture surface</i>	 <p>Gambar yang menunjukkan bentuk <i>cleavage</i> <sup>(16)</sup>.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Patah <i>brittle</i> (<i>cleavage fracture</i>).</li> <li>- Indikasi adanya <i>stress corrosion cracking</i> (SCC).</li> <li>- Indikasi rentang faktor intensitas tegangan <i>fatigue</i> (<math>\Delta K</math> <i>Fatigue</i>) yang rendah.</li> </ul>
Intergranular dengan batas butir berbentuk <i>dimple</i>	 <p>Retak yang terjadi pada batas butir (intergranular) dengan batas butir berbentuk <i>dimple</i> ditunjukkan oleh panah hitam <sup>(16)</sup>.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Indikasi <i>decohesive rupture</i>: Merupakan patah yang terjadi akibat batas butir mengandung konstituen titik lebur terendah dari sistem paduan.</li> <li>- Indikasi proses</li> </ul>

Tanda/indikasi	Gambar	Implikasi
		perlakuan panas yang tidak sempurna sehingga terbentuk daerah kosong di sekitar batas butir
Terdapat bentuk seperti aliran sungai ( <i>river pattern</i> )	 <p><i>River pattern</i> ditunjukkan oleh panah hitam <sup>(16)</sup>.</p>	Patah <i>brittle</i> ( <i>cleavage fracture</i> )
Terdapat bentuk menyerupai lidah ( <i>tongues shape</i> )	 <p>Bentuk <i>tongues</i> ditunjukkan oleh panah hitam <sup>(16)</sup>.</p>	Terjadi deformasi melalui mekanisme <i>twinning</i> pada saat perambatan retak yang cepat.

## 2.2 Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka yang dipelajari ditunjukkan oleh tabel 2.8 dan 2.9.

Tabel 2.8 Tinjauan pustaka untuk jurnal 1 <sup>(17)</sup>.

Jurnal	Metodologi	Hasil
<p>Judul : <i>Preliminary Examination of the Fracture Surfaces of a Cold Working Die.</i></p> <p>Peneliti : D. Statharas, D. Papageorgiou, J. Sideris, C. Medrea.</p> <p>Tahun : 2008</p> <p>Material : AISI D2 <i>tool steel</i> dengan <i>coating</i> TiN</p>	<p>1. Data historis seperti kondisi operasi dan <i>lifetime</i> dikumpulkan.</p> <p>2. Temperatur operasi diukur dengan menggunakan <i>LAZER PT-2LD Thermometer</i>.</p> <p>3. Kekerasan diukur dengan dan tanpa <i>coating</i> di sepanjang permukaan <i>die</i>.</p> <p>4. <i>Optical inspection</i> dan</p>	<p>Gambar bagian yang patah dari <i>die</i> ditunjukkan oleh gambar 1.</p>  <p>Gambar 1 Bagian yang patah pada <i>die</i> ditunjukkan oleh panah merah.</p> <p>1. Temperatur operasi tidak memiliki efek negatif terhadap operasi <i>tool</i> dan bukan penyebab patah.</p> <p>2. Hasil pengamatan makroskopik: - Tidak ada deformasi plastis (patah <i>brittle</i>). - Permukaan kasar (<i>coarse</i>) dan terdapat deformasi yang berbentuk <i>river</i> pada titik tertentu yang berada di tengah <i>die</i> yang ditunjukkan pada gambar 2.</p>  <p>(a) (b)</p> <p>Gambar 2 <i>Sample</i> permukaan patahan yang dilihat dari <i>stereoscope</i>. (a) permukaan kasar. (b) terdapat deformasi berbentuk <i>river</i>.</p>

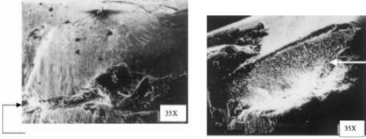
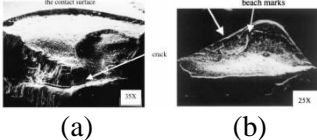
Jurnal	Metodologi	Hasil
	<p>pengamatan makroskopik dilakukan dengan menggunakan <i>Leica MZ9s stereoscope</i> untuk mengamati permukaan patahan. Sampel dipotong dengan menggunakan 18 E 30 <i>Electrojet cutting machine</i> dan elektroda grafit. Permukaan patahan dibersihkan dengan menggunakan Nital 3%, dicuci bersih dengan methanol</p>	<p>3. Kesimpulan:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Brittle overload</i> menjadi penyebab patah.</li> <li>- Penyebab kegagalan: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kandungan radium yang berkurang pada titik-titik yang mengalami perubahan diameter (ditunjukkan oleh gambarr 3) menyebabkan terjadinya akumulasi <i>stress</i> di titik tersebut.</li> </ul> </li> </ul> <div data-bbox="519 603 916 756"> </div> <p>(a) (b)</p> <p>Gambar 3 Titik-titik yang mengalami perubahan diameter (a) Posisi tengah <i>die</i>. (b) Daerah yang patah</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Die</i> memiliki nilai kekerasan yang <i>uniform</i> (seragam) disepanjang permukaan.</li> <li>• Penggunaan dan <i>setting</i> alat yang tidak sesuai menyebabkan keausan, robekan di ujung-ujungnya dan peningkatan <i>stress</i> yang terjadi di permukaan.</li> </ul>



Jurnal	Metodologi	Hasil
	dan dikeringkan dengan udara kering.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tidak ada <i>stress relief</i> setelah perbaikan alat dapat menyebabkan timbulnya <i>stress</i> pada permukaan material sehingga mengurangi ketahanan <i>fatigue</i>.</li> </ul>

Tabel 2.9 Tinjauan pustaka untuk jurnal 2 <sup>(18)</sup>.

Jurnal	Metodologi	Hasil
<p>Judul : <i>Failure Analysis of a Cold-Extrusion Punch to Enhance its Quality and Prolong its Life</i></p> <p>Peneliti : Yi-Che Lee, Fuh-Kuo Chen</p> <p>Tahun : 1999</p> <p>Material : <i>High strength steel</i></p>	<p>1. <i>Mechanical properties</i> dari <i>cold-extrusion punch</i> diperiksa untuk mengidentifikasi cacat dalam performa terkaitnya.</p> <p>2. Karakteristik dari kegagalan <i>punch</i> dibandingkan dengan kegagalan yang sering terjadi (dari sisi karakteristik makro dan mikro) untuk menentukan penyebab kegagalan</p>	<p>1. <i>Mechanical properties</i> yang dipelajari adalah komposisi kimia, <i>surface layer</i> dan mikrostruktur. Hasil identifikasi dari <i>mechanical properties</i>, ditemukan bahwa pertumbuhan butir dan <i>coarser carbide</i> menjadi cacat utama bagi performa <i>punch</i>.</p> <p>2. Pengamatan mikroskopik dilakukan menggunakan <i>Scanning Electron Microscope (SEM)</i> <i>Crack initiation</i> biasanya terdapat di bagian tajam pada bagian atas <i>punch</i>. Hasil SEM ditunjukkan pada gambar 1. <i>Crack</i> yang merambat secara bertahap merupakan penyebab utama <i>fatigue fracture</i>.</p>

Jurnal	Metodologi	Hasil
dengan <i>coating</i> TiC dan TiN	utama.	<div data-bbox="561 233 927 371">  <p>(a) (b)</p> </div> <p data-bbox="544 405 930 536">Gambar 1 Hasil <i>SEM</i> pada sudut tajam di bagian atas <i>punch</i> (a) <i>crack initiation</i>. (b) <i>fracture zone</i>.</p> <p data-bbox="544 544 930 842">3. Pengamatan makroskopik Hasil pengamatan makroskopik ditunjukkan pada gambar 5. Hasil ini menunjukkan bahwa inti <i>fatigue crack</i> muncul di permukaan luar <i>punch</i> kemudian merambat secara bertahap kedalam <i>interior punch</i>.</p> <div data-bbox="580 847 897 986">  <p>(a) (b)</p> </div> <p data-bbox="566 994 908 1155">Gambar 5 Hasil Pengamatan makroskopik (a) <i>Crack</i> merambat kedalam <i>interior punch</i>. (b) Terdapat <i>beach marks</i>.</p> <p data-bbox="544 1197 930 1394">4. Kesimpulan: 1. <i>Fatigue fracture</i> menjadi penyebab utama kegagalan <i>punch</i>. 2. Untuk meningkatkan kualitas</p>

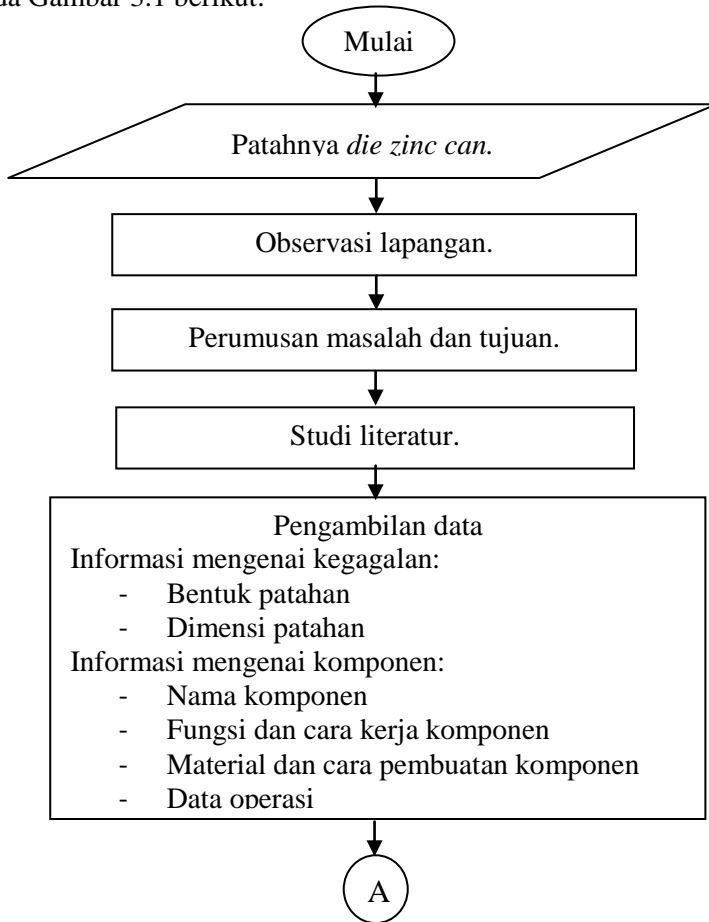
Jurnal	Metodologi	Hasil
		<p>dan umur <i>punch</i>:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Material yang dipilih untuk <i>cold-extrusion punch</i> harus mengandung unsur-unsur yang tepat, seperti Mo, V, Ti, Nb dan Zr untuk mencegah pertumbuhan butir.</li> <li>- Kandungan C yang lebih rendah dari material harus dipilih untuk menghindari <i>coarse carbide</i> terjadi.</li> <li>- Temperatur tinggi dan waktu pemanasan harus di control sebaik mungkin. <i>Surface layer</i> yang tipis dapat dipilih untuk mengurangi waktu pemanasan dan meningkatkan performa.</li> </ul>

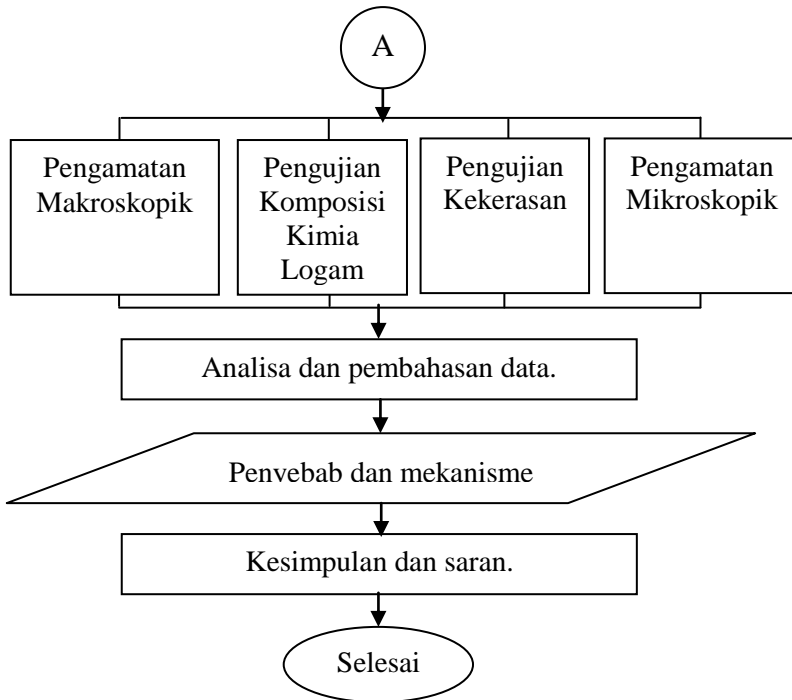
*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan untuk mencapai tujuan penelitian ini digambarkan secara singkat melalui diagram alir pada Gambar 3.1 berikut:





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.

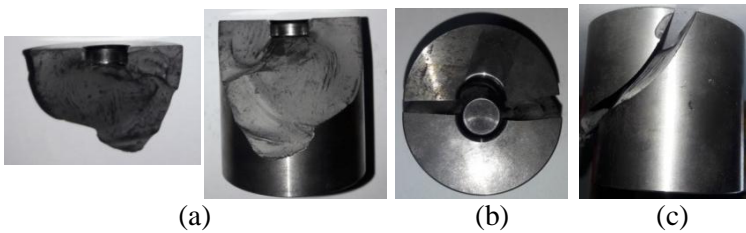
### 3.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan untuk melakukan penelitian analisa kegagalan, antara lain:

1. Penggaris dan jangka sorong.
2. Kamera digital.
3. *Stereo microscope*.
4. Alat uji kekerasan *Rockwell hardness tester*.
5. Alat uji komposisi kimia *spectrometer* dan XRF (*X-Ray Fluorescence Spectrometry*)
6. SEM-EDS (*Scanning Electron Microscope - Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy*)

### 3.3 Sampel Material *Die*

Komponen yang akan dianalisis pada penelitian ini adalah tiga buah *die* (cetakan) yang diambil dari mesin proses *impact extrusion* pembuatan *zinc can* pada baterai. Satu buah *die* merupakan sampel utama yang mengalami patah 14 hari sedangkan dua buah lainnya merupakan sampel yang patah wajar sesuai umurnya 30 hari. Material yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.2 dan 3.3. Material *die* merupakan DEX 40 atau *particle metallurgy high speed tool steel*.



Gambar 3.2 *Die* yang mengalami kegagalan 14 hari. (a) Dua permukaan patahan yang dipisah. (b) Patahan tampak atas. (c) Patahan tampak samping.



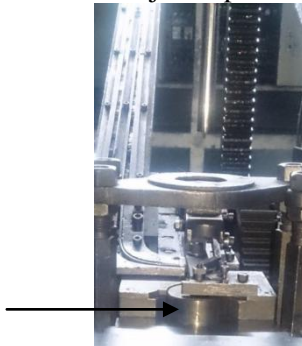
Gambar 3.3 Dua *die* yang mengalami patah wajar sesuai umurnya yaitu 30 hari. (a) *Die* pertama dengan patahan tampak depan dan atas. Arah patahan ditunjukkan pada panah hitam. (b) *Die* kedua dengan patahan tampak depan, atas dan samping.

### 3.4 Langkah-langkah Penelitian

Pada tugas akhir ini dilakukan beberapa langkah-langkah penelitian analisa kegagalan sebagai berikut:

#### 3.4.1 Observasi Lapangan

Observasi lapangan dilakukan setelah ditemukan kegagalan berupa patahnya *die* yang diambil dari mesin proses *impact extrusion* pembuatan *zinc can* pada baterai. Posisi *die* pada mesin *impact extrusion* ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Lokasi *die* pada mesin *impact extrusion* ditunjukkan oleh panah hitam.

#### 3.4.2 Studi Literatur

Studi literatur merupakan proses membaca dan mempelajari buku dan jurnal yang dapat memberikan informasi mengenai faktor-faktor yang terkait kegagalan sejenis. Faktor-faktor tersebut dapat berupa desain *die* dan gaya-gaya yang berpengaruh dan pola patahan. Studi literatur juga meliputi dasar teori tentang prinsip kerja proses *impact extrusion*, permukaan patahan dan mekanisme *fatigue fracture*.

#### 3.4.3 Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan untuk mendapatkan data-data awal dari kerusakan. Terdapat beberapa informasi yang didapatkan meliputi komponen yang mengalami kegagalan,



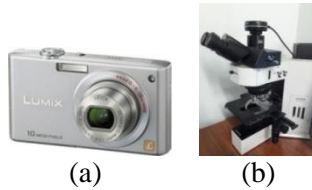
kondisi komponen yang berhubungan dengan komponen yang gagal tersebut dan informasi mengenai terjadinya kegagalan. Observasi dan tujuan dari pengambilan data dijabarkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Rancangan pengambilan data.

Observasi	Tujuan	Data yang Diperoleh
Nama komponen	Mencari kegagalan sejenis yang terkait sebagai referensi.	
Umur komponen (seharusnya)	Mengetahui riwayat pemakaian komponen.	
Bentuk dan dimensi komponen yang patah wajar sesuai waktunya	Mengetahui dimensi dan kondisi kerusakan yang normal terjadi sebagai perbandingan dan referensi	
Bentuk dan dimensi komponen yang patah sebelum waktunya	Mengetahui dimensi dan kondisi kerusakan yang terjadi pada <i>die</i> yang diobservasi.	

#### 3.4.4 Pengamatan Makroskopik

Pengamatan makroskopik dilaksanakan dengan metode pengamatan visual menggunakan bantuan kamera digital dan *stereo microscope*. Pengamatan makroskopik bertujuan untuk mengamati permukaan patahan *die*. Alat yang digunakan untuk pengamatan makroskopik ditunjukkan pada Gambar 3.4. Tujuan dan data yang diperoleh dari pengamatan makroskopik dijabarkan pada Tabel 3.2.



Gambar 3.5 Alat yang digunakan untuk pengamatan makroskopik  
(a) Kamera digital. (b) *Stereo microscope*.

Tabel 3.2 Rancangan pengamatan makroskopik.

Observasi	Tujuan	Data yang diperoleh
Permukaan patahan <i>die</i> .	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengetahui pola patahan secara makro untuk menentukan sifat patahan.</li> <li>- Mengetahui awal <i>crack</i> dan <i>final fracture</i>.</li> <li>- Mencari hubungan kegagalan dengan penyebab kegagalan berdasarkan permukaan patahan.</li> </ul>	Gambar pola patahan

### 3.4.5 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilaksanakan dengan metode *Rockwell hardness test*. Alat yang digunakan untuk pengujian kekerasan ditunjukkan pada Gambar 3.6. Tujuan dan data yang diperoleh dari pengujian kekerasan dijabarkan pada Tabel 3.3.



Gambar 3.6 Alat uji kekerasan *Rockwell Hardness Tester*.

Tabel 3.3 Rancangan pengujian kekerasan dengan *Rockwell hardness tester*.

Observasi	Tujuan	Data yang diperoleh
Permukaan atas <i>die</i> .	Mengetahui nilai kekerasan pada permukaan luar <i>die</i>	
Potongan melintang <i>die</i> yang tidak mengalami patah.	Mengetahui nilai kekerasan pada bagian yang tidak mengalami patah sebagai perbandingan.	

### 3.4.6 Pengamatan Mikroskopik

Pengamatan mikroskopik dilakukan dengan metalografi dan SEM (*Scanning Electron Microscope*). Pengujian metalografi akan dilakukan pada potongan melintang spesimen. Standar yang digunakan adalah ASTM B 328 dengan *etchant* yang digunakan adalah 5 % nital <sup>(9)</sup>. Pengamatan dengan SEM dilakukan di daerah *crack initiation*. Tujuan dan data yang diperoleh dari pengujian metalografi dijabarkan pada tabel 3.3.

Tabel 3.4 Rancangan pengamatan mikroskopik.

Observasi	Tujuan	Data yang diperoleh
Permukaan patahan <i>die</i> .	Mengetahui awal mula <i>microcrack</i> dan arah perambatan <i>crack</i> nya.	
Potongan melintang	Mengetahui mikrostruktur dari <i>die</i> yang mengalami patah 14 hari dengan patah wajar 30 hari sebagai perbandingan.	

### 3.4.7 Pengujian Komposisi Kimia

Pemeriksaan komposisi kimia diperlukan untuk mengetahui unsur penyusun material. Komposisi kimia tersebut nantinya akan menentukan sifat mekanik dari material yang kemudian akan dihubungkan dengan penyebab kegagalan. Identifikasi komposisi kimia dilakukan dengan menggunakan *spectrometer* dan XRF (*X-ray fluorescence spectrometry*). Selain itu dilakukan uji EDS (*Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy*) pada daerah *crack initiation* untuk mengetahui komposisi kimia yang terdapat di daerah tersebut. Gambar alat pengujian komposisi kimia ditunjukkan pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 *Spectrometer*.

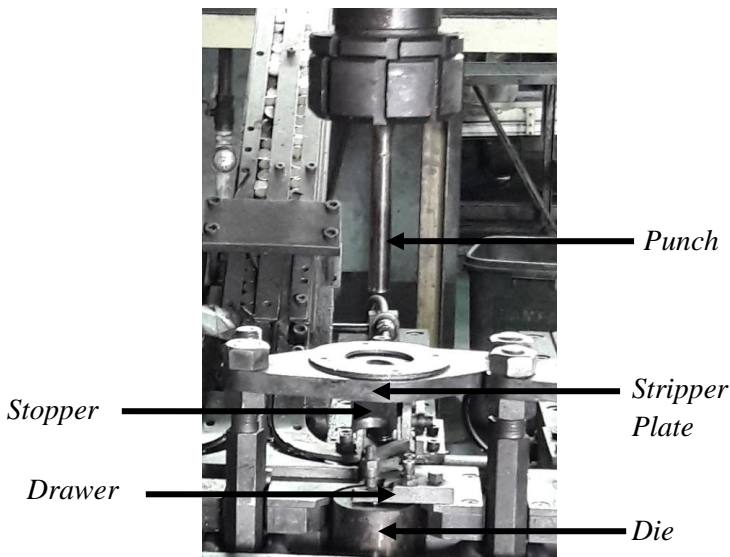
## BAB IV

### ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Informasi Mesin *Impact Extrusion Zinc Can Process*

##### 4.1.1 Komponen Penyusun dan Spesifikasi

Mesin *impact extrusion zinc can process* dengan komponen penyusun nya ditunjukkan pada Gambar 4.1. Mesin terdiri dari *punch*, *die*, *stopper*, *drawer* dan *stripper plate*. *Die* pada penelitian ini merupakan cetakan yang digunakan untuk membuat *zinc can* pada baterai *zinc carbon*. Spesifikasi dari mesin tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.1



Gambar 4.1 Mesin *Impact Extrusion Zinc Can Process*.

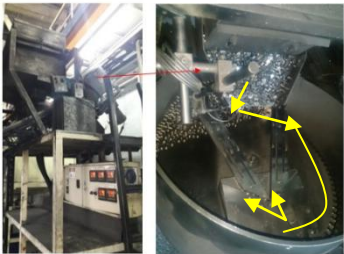

Tabel 4.1 Spesifikasi Mesin *Impact Extrusion Zinc Can Process*.

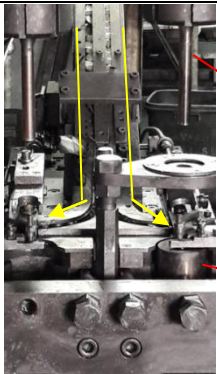
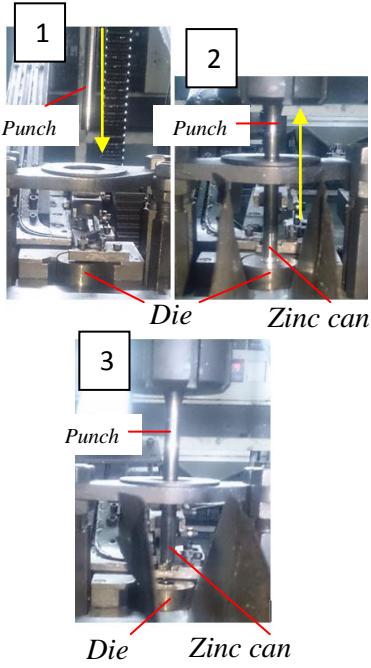
Spesifikasi	Keterangan
<i>Capacity</i>	150 Ton
<i>Number of Stroke</i>	75 s.p.m.

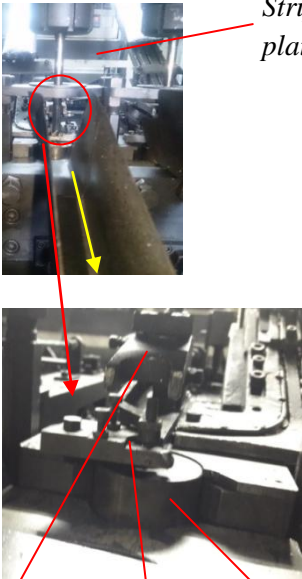
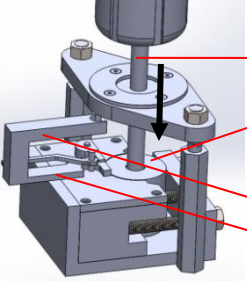
#### 4.1.2 Proses Pembuatan *Zinc Can*

Proses pembuatan *zinc can* dijelaskan pada Tabel 4.2

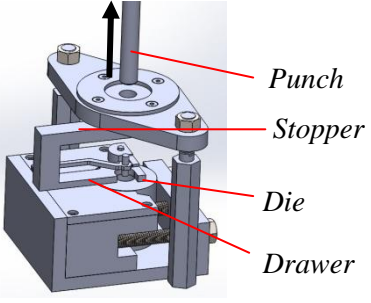
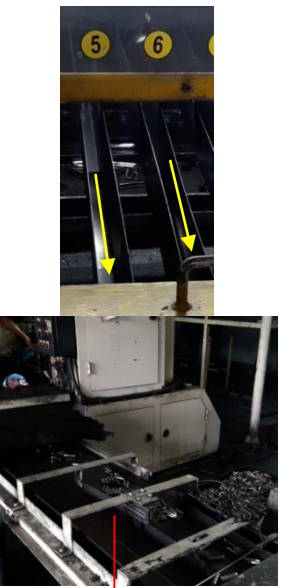
Tabel 4.2 Proses Pembuatan *Zinc Can*

No	Gambar	Keterangan
1.		<i>Zinc blank</i> (R 6 mm dan tebal 4 mm) masuk ke dalam saluran pemanas ( <i>heater</i> ). Alur masuk ditandai dengan panah kuning. <i>Zinc blank</i> dari tempat penyimpanan diatas jatuh ke wadah yang berputar yang selanjutnya mengangkut <i>zinc blank</i> tersebut ke tempat masuk saluran pemanas ( <i>heater</i> ).
2.		<i>Zinc blank</i> dipanaskan hingga temperatur 150 °C - 200 °C pada saluran pemanas yang ditandai oleh garis merah. Pemanasan ini bertujuan untuk melunakan <i>zinc</i> agar mudah dibentuk.
3.		<i>Zinc blank</i> turun mengikuti saluran dan bersiap untuk masuk ke dalam <i>die</i> (cetakan). Terdapat 2 saluran pemanas yang akan membagi <i>zinc blank</i> ke

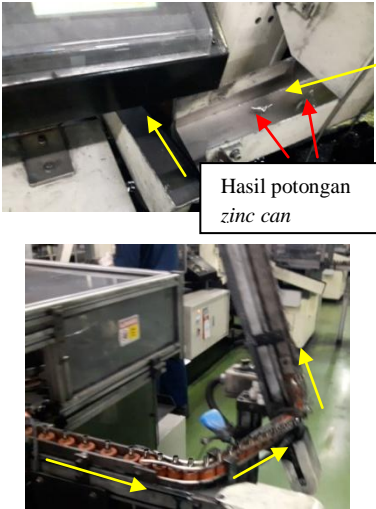
No	Gambar	Keterangan
		<p>arah <i>die</i> di sebelah kanan atau kiri.</p>
4.		<p>Proses <i>pressing</i> dilakukan dengan prinsip proses <i>impact extrusion</i>:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Zinc blank</i> masuk ke dalam <i>die</i> dan bersiap untuk di <i>punch</i>.</li> <li>2. Alat <i>punch</i> turun dan menekan <i>zinc blank</i> menjadi <i>zinc can</i>. Tekanan yang diberikan sebesar 150 ton.</li> <li>3. Alat <i>punch</i> naik setelah mencapai batas penekanan tertentu. <i>Zinc can</i> sudah terbentuk. Waktu yang dibutuhkan <math>\pm 0,8</math> detik untuk membuat 1 <i>zinc can</i>.</li> </ol>

No	Gambar	Keterangan
	 <p data-bbox="228 874 529 911"><i>Stripper plate</i></p> <p data-bbox="228 874 529 911"><i>Stopper</i> <i>Drawer</i> <i>Die</i></p> <p data-bbox="228 927 329 954">Ilustrasi:</p>  <p data-bbox="244 1002 609 1219"><i>Punch</i> <i>Die</i> <i>Stopper</i> <i>Drawer</i></p> <p data-bbox="228 1246 564 1378">Ketika <i>punch</i> turun dan menekan <i>zinc pellet</i>, <i>stopper</i> dan <i>drawer</i> mundur ke belakang</p>	<p data-bbox="631 284 934 379">4. <i>Zinc can</i> yang sudah terbentuk masih menempel di <i>punch</i>.</p> <p data-bbox="631 419 934 619">5. <i>Punch</i> naik melewati <i>stripper plate</i> dan akhirnya <i>zinc can</i> terlepas karena tidak bisa ikut melewati <i>stripper plate</i>.</p> <p data-bbox="631 659 934 1129">6. <i>Stopper</i> kemudian mendorong <i>zinc can</i> ke saluran yang ditandai oleh panah kuning. Sementara itu diwaktu yang bersamaan, <i>drawer</i> mendorong <i>zinc pellet</i> baru untuk masuk ke dalam <i>die</i>. Posisi <i>stopper</i>, <i>drawer</i> dan <i>punch</i> ketika proses ditunjukkan pada ilustrasi disamping.</p> <p data-bbox="631 1169 934 1394">7. Proses <i>pressing</i> berulang. Proses ini berjalan sebanyak 75 <i>stroke</i> / min atau menghasilkan 75 <i>zinc can</i> / min. Selain itu tidak ada waktu jeda</p>



No	Gambar	Keterangan
	 <p>Ketika <i>punch</i> naik setelah membentuk <i>zinc can</i>, <i>stopper</i> dan <i>drawer</i> kembali ke depan.</p>	<p>pada setiap pembuatan <i>zinc can</i> (<i>punch</i> langsung terangkat kembali setelah <i>zinc can</i> terbentuk)</p>
5.	 <p>Penyimpanan berjalan</p>	<p><i>Zin can</i> yang sudah terdorong oleh <i>stopper</i> turun melewati saluran seperti yang ditunjukkan oleh panah kuning. Kemudian <i>zinc can</i> tersebut masuk ke penyimpanan berjalan.</p>

No	Gambar	Keterangan
6.		<p>Setiap 1 jam sekali dilakukan <i>inspection</i> terhadap <i>sample zinc can</i>. <i>Sample zinc can</i> ini kemudian di cek ketebalan bawah dan sisi nya masing-masing. Selain itu dilakukan pemeriksaan visual. Ketebalan yang lebih/kurang dari standar dan visual <i>zinc can</i> yang terdapat cacat akan masuk ke dalam barang <i>rejection</i>.</p>
7.		<p><i>Zinc can</i> yang sudah lulus <i>inspection</i> dapat masuk ke proses <i>cutting</i>.</p> <p>Proses <i>cutting</i> dilakukan dengan mesin <i>trimming</i>. Proses ini bertujuan untuk memotong bagian atas <i>zinc can</i> agar sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan.</p> <p>Hasil potongan <i>zinc can</i> ini kemudian dibuang kearah saluran yang ditandai oleh panah kuning.</p>

No	Gambar	Keterangan
8.		<p>Hasil potongan <i>zinc can</i> ini selanjutnya dikumpulkan untuk kemudian dilebur dan dibentuk kembali menjadi <i>zinc pellet</i> (bahan baku <i>zinc can</i>).</p> <p><i>Zinc can</i> yang sudah sesuai spesifikasi dibawa oleh mesin otomatis ke bagian <i>processing</i>.</p>

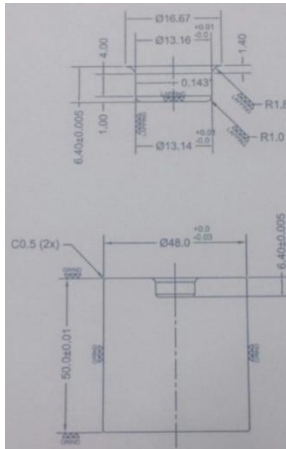
## 4.2 Informasi Die

### 4.2.1 Dimensi

*Die* pada *impact extrusion zinc can process* merupakan silinder pejal dengan lubang yang memiliki kedalaman ditengah. Lubang tersebut merupakan cetakan dasar yang membentuk *zinc can*. Gambar teknik *die* ditunjukkan pada Gambar 4.2. Keterangan dimensi *die* ditunjukkan pada Tabel 4.3.

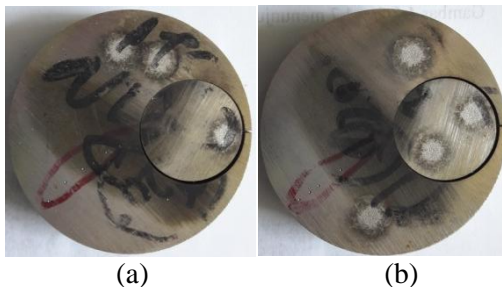
Tabel 4.3 Dimensi *die* pada *impact extrusion zinc can process*.

Keterangan	Dimensi (mm)
Diameter luar	48
Diameter lubang	13,16
Kedalaman lubang	6,4
Tinggi	50

Gambar 4.2 Dimensi *die*.

#### 4.2.2 Material Penyusun

Pengujian komposisi kimia *die* dilakukan dengan *spectrometer*. *Die* dipotong melintang untuk sampel dengan ketebalan 10 mm dari bagian bawah *die* yang ditunjukkan pada Gambar 4.3. Hasil uji komposisi kimia *die* serta komposisi kimia standar untuk material *die* DEX 40 ditunjukkan pada Tabel 4.4.



Gambar 4.3 Sampel untuk uji komposisi kimia. (a) Sampel 1 merupakan *die* patah 14 hari (b) Sampel 2 merupakan *die* patah wajar sesuai umurnya 30 hari.

Tabel 4.4 Hasil uji komposisi kimia serta komposisi kimia standar material DEX 40 *ASM Handbook*. Sampel 1 *die* patah 14 hari dan sampel 2 *die* patah wajar sesuai umurnya yaitu 30 hari.<sup>(12)</sup>

Unsur-unsur Penyusun	%				
	Sampel 1 (14 hari)		Sampel 2 (30 hari)		ASM Handbook
	XRF *	Spectro meter*	XRF *	Spectro meter*	
Carbon (C)	-	2,03	-	1,19	1,3
Tungsten (W)	12,8	-	7,45	6,87	6,25
Molybdenum (Mo)	2,53	2,46	6,99	5,23	5
Vanadium (V)	5,02	-	2,92	2,94	3
Cobalt (Co)	7,77	-	7,99	9,24	8
Chromium (Cr)	4,68	5,68	4,19	3,97	4
Silicon (Si)	-	0,66	-	0,25	Max 0,5
Manganese (Mn)	0,33	0,33	0,3	0,25	Max 0,3
Sulfur (S)	-	0,02	-	0,01	Max 0,03
Phosphorus (P)	0,2	0,04	0,2	0,02	-
Nickel (Ni)	0,02	0,55	-	0,10	-
Copper (Cu)	0,16	0,07	2,91	0,06	-
Titanium (Ti)	-	-	-	0,005	-
Niobium (Nb)	-	-	-	0,005	-
Lead (Pb)	-	-	-	0,005	-
Calcium (Ca)	0,17	-	0,18	-	-
Selenium (Se)	0,03	-	-	-	-
Zinc (Zn)	-	-	0,87	-	-
Germanium (Ge)	-	-	0,01	-	-
Iron (Fe)	66,22	88,10	66,01	69,8	Sisa

\*Untuk masing-masing sampel 1 dan 2, Nilai di atas adalah rata-rata dari 2x pengujian XRF dan 3x pengujian *spectrometer*.

                     : Unsur yang tidak sesuai dengan standar

Pengujian dilakukan dengan dua cara untuk mendapatkan hasil komposisi kimia unsur-unsur yang terdapat pada standar. Hasil *spectrometer* menunjukkan tidak terdeteksinya unsur W, V dan Co akibat error pada mesin. Untuk mendapatkan unsur yang tidak terbaca maka dilakukan pengujian komposisi kimia dengan XRF. Metode XRF juga memiliki beberapa kekurangan diantaranya tidak dapat digunakan untuk mengetahui kandungan unsur yang ringan sehingga hasil XRF yang didapat menunjukkan tidak terdeteksinya unsur C. Untuk melengkapi nilai % unsur paduan, maka hasil dari kedua metode digabung untuk dibandingkan. Unsur lain yang terbaca ialah P, Ni, Cu, Ca, Se, Zn dan Ge.

*Toughness* merupakan kemampuan suatu material untuk menyerap energi dan terdeformasi plastis tanpa patah. *Die* pada proses *impact extrusion* mengalami beban yang besar dan ditekan dengan *punch* berkecepatan tinggi. Sifat mekanik yang harus dimiliki *die* diantaranya ialah *toughness* yang cukup untuk menahan beban *impact* tersebut <sup>(6)</sup>. Beberapa unsur pada *high speed tool steel* yang memiliki pengaruh terhadap *toughness* ialah Mo, V, W dan Cu.

Hasil pengujian komposisi kimia kedua metode menunjukkan unsur Mo memiliki kadar % yang dibawah standar. Berdasarkan tabel 2.1, Mo memiliki hubungan dengan *toughness* material. *High speed tool steel* dengan kandungan Mo yang tinggi memiliki sifat yang lebih *tough* <sup>(8)</sup>. W dan Mo adalah elemen paduan yang penting untuk mengembangkan ketahanan temper yang cukup untuk memungkinkan material ini bekerja pada "*high speed*" dalam operasi *cutting*. Kedua elemen membentuk karbida primer  $M_6C$  yang tahan aus <sup>(12)</sup>. Kandungan Mo yang kurang dapat menyebabkan *toughness* material yang berkurang.

Hasil pengujian komposisi kimia lainnya menunjukkan unsur W dan V memiliki kadar % yang berada diatas standar. W merupakan elemen penting pada *high-speed tool steel*. *Complex carbide* dari Fe, W dan C yang ditemukan pada *high speed tool steel* bersifat sangat keras untuk tahan aus. V memiliki pengaruh terhadap pembentukan karbida yang sangat keras dan stabil pada paduan<sup>(8)</sup>.

Beberapa unsur yang memiliki efek negatif terhadap paduan ialah Ni, Cu, P dan Si. Berdasarkan Tabel 2.2 dan Gambar 2.4, unsur-unsur tersebut mempengaruhi kekerasan dan *toughness* paduan. Peningkatan kadar Cu menyebabkan berkurangnya *toughness* dan *elongation*. Peningkatan kadar Ni memiliki pengaruh terhadap peningkatan kekerasan permukaan dan kenaikan yang sedikit terhadap *hardenability*<sup>(10)</sup>.

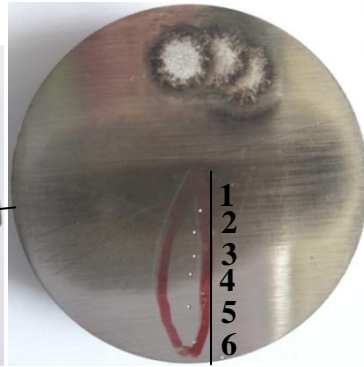
Setelah dicocokkan dengan komposisi kimia standar, sampel utama memiliki beberapa komposisi kimia yang tidak sesuai dengan material DEX 40. Unsur-unsur tersebut memiliki pengaruh terhadap *toughness die*. Kesimpulan yang diambil dari komposisi kimia yang didapat adalah adanya sifat mekanik *toughness die* yang berkurang akibat unsur-unsur yang tidak sesuai pada paduan.

#### 4.2.3 Kekerasan

Pengujian kekerasan yang digunakan adalah *Rockwell C*. Pengujian dilakukan pada bagian penampang melintang dan permukaan atas *die*. *Die* dipotong melintang dengan ketebalan 10 mm dari bagian bawah. Sampel pengujian ditunjukkan pada Gambar 4.4. Pengujian dilakukan 2x pada permukaan luar dengan 5 identasi untuk kedua sampel dan 1x pada permukaan dalam dengan 6 identasi (sampel 1) dan 5x identasi (sampel 2). Pengujian kekerasan dilakukan dari pusat menuju permukaan luar. Data yang didapat ditunjukkan pada Tabel 4.5.



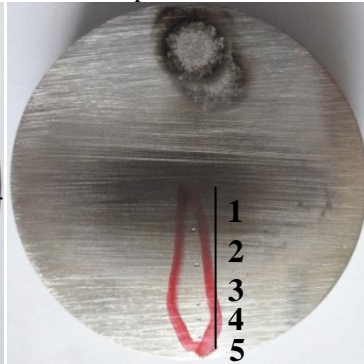
Permukaan atas  
*die* patah 14 hari



Potongan melintang  
*die* patah 14 hari



Permukaan atas  
*die* patah wajar 30 hari



Potongan melintang  
*die* patah wajar 30 hari

Gambar 4.4 Sampel pengujian kekerasan. Penomoran ditunjukkan untuk mempermudah penamaan.



Tabel 4.5 Data hasil pengujian kekerasan. Sampel 1 merupakan *die* patah 14 hari dan sampel 2 merupakan *die* patah wajar sesuai umurnya 30 hari.

Kekerasan (HRC)			
Permukaan atas		Penampang melintang	
Sampel 1 (14 hari)	Sampel 2 (30 hari)	Sampel 1 (14 hari)	Sampel 2 (30 hari)
1. 58 2. 58 3. 61 4. 61 5. 62	1. 60 2. 62 3. 62 4. 62,5 5. 62,5	1. 62 2. 62,5 3. 62 4. 62 5. 63 6. 61	1. 63 2. 63 3. 62 4. 62,5 5. 62
6. 59 7. 60 8. 61 9. 62 10. 62	6. 51 7. 61 8. 58 9. 57,5 10. 52	-	-

Kekerasan *Rockwell C* maksimal yang dapat dicapai untuk DEX 40 adalah 66-68 HRC <sup>(12)</sup>. Berdasarkan nilai kekerasan yang didapat dari masing-masing sampel, baik sampel 1 (patah 14 hari) maupun sampel 2 (patah wajar 30 hari) tidak mencapai nilai kekerasan maksimalnya. Hal ini dapat disebabkan oleh proses perlakuan panas yang tidak benar. *Austenizing* dan *tempering* dapat mempengaruhi nilai kekerasan. Temperatur *austenizing* yang rendah dan temperatur *tempering* yang tinggi dapat menurunkan nilai kekerasan akhir yang akan dicapai <sup>(11)</sup>.

Proses *extrusion* membutuhkan *tool steel* yang memiliki ketangguhan yang cukup untuk menahan *impact* yang besar. Untuk itu, dibutuhkan *tool steel* yang memiliki kekerasan yang

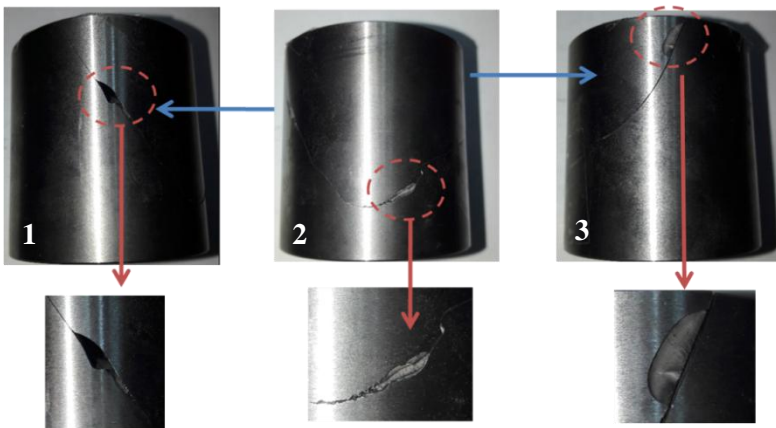
merata (*through hardening*)<sup>(14)</sup>. *High speed tool steel* mengeras sangat dalam (*depth of hardening*) sehingga hampir setiap bagian akan memiliki kekerasan seragam dari pusat ke permukaannya<sup>(8)</sup>. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa terdapat perbedaan kekerasan pada permukaan dalam dan luar *die* untuk kedua sampel. Data tersebut menunjukkan bahwa kekerasan kedua sampel tidak merata antara permukaan luar dan dalam. Nilai kekerasan pada permukaan dalam *die* cenderung sama besar dengan kekerasan tertinggi 63 HRC. Kekerasan yang tidak merata dapat disebabkan oleh prosedur perlakuan panas yang tidak benar, salah satu contohnya ketika proses *quenching*.

Kekerasan memiliki pengaruh terhadap *yield strength* material. Semakin tinggi nilai kekerasan *high speed tool steel*, maka semakin tinggi nilai *yield strength*<sup>(19)</sup>. Apabila kekerasan semakin menurun maka nilai *yield strength* akan menurun. Ketika *yield strength* menurun, maka kemampuan material untuk mempertahankan bentuknya (tanpa terdeformasi) akan menurun. Hal ini menjadi sangat rentan untuk terjadi *crack initiation* akibat kekuatan yang berkurang. *Crack initiation* dapat dimulai dari daerah yang memiliki nilai kekerasan yang rendah.

### **4.3 Pengamatan Makroskopik**

#### **4.3.1 *Die* patah 14 hari**

Pengamatan visual dilakukan untuk mengamati kondisi keseluruhan *die* yang rusak. Kondisi dari *die* ditunjukkan pada Gambar 4.5 dan 4.10. Gambar 4.5 menunjukkan kondisi visual *die* yang mengalami patah 14 hari.



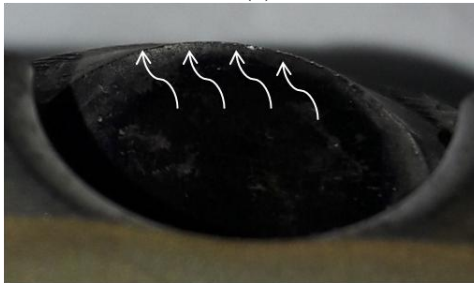
Gambar 4.5 Kondisi *die* yang mengalami patah 14 hari, samping kiri (1), depan (2) dan samping kanan (3) dari *die*. *Chipping* yang terjadi pada bagian permukaan *die*

Hasil pengamatan permukaan luar *die* terlihat adanya material yang terpecah-pecah menjadi potongan/serpihan yang kecil yang ditunjukkan pada Gambar 4.5. Keseluruhan permukaan *die* mengalami hal ini. Hal ini terjadi akibat material yang terlalu getas.

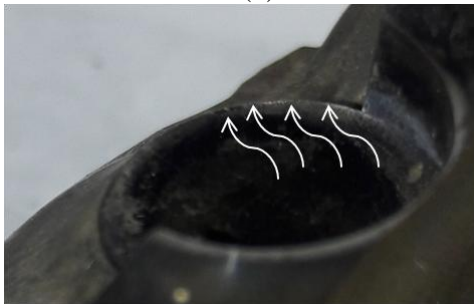
Permukaan atas *die* pada daerah lubang cetakan menunjukkan permukaan yang tidak rata yang ditunjukkan pada Gambar 4.6. Hal ini terjadi pada seluruh tepi lubang yang mengalami patah. Perbedaan ketinggian patahan pada lubang mengindikasikan terjadi patah ulet pada daerah lubang tersebut.



(a)



(b)

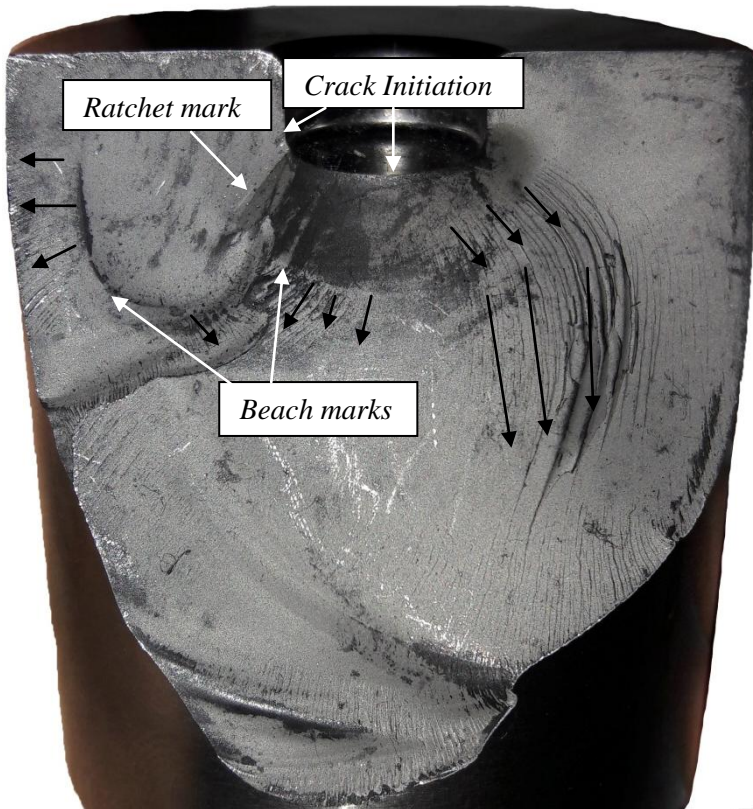


(c)

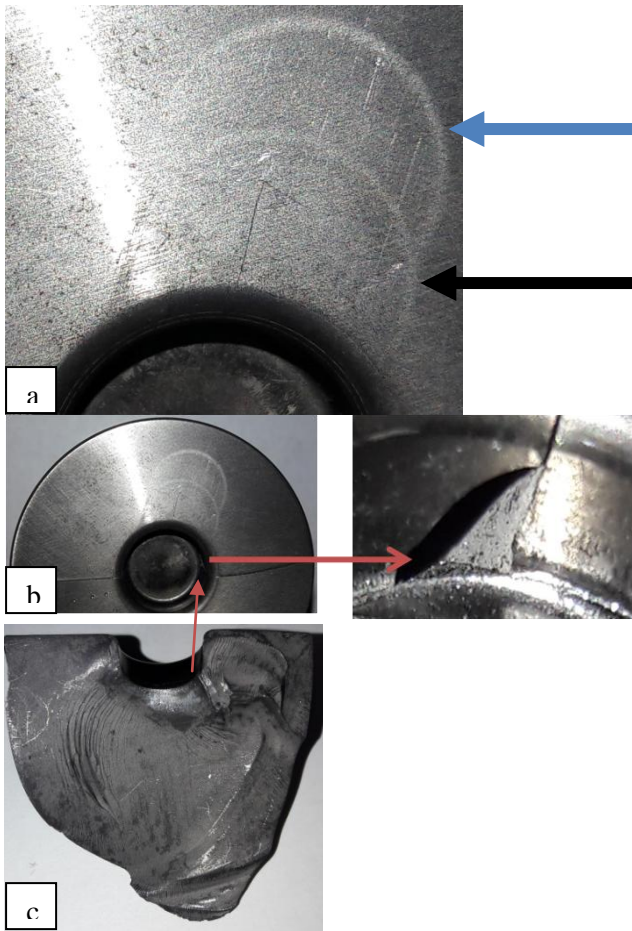
Gambar 4.6 Pemukaan luar bagian lubang *die* yang patah tidak rata. (a) tampak samping kiri. (b) tampak depan. (c) tampak samping kanan.

### Permukaan Patahan

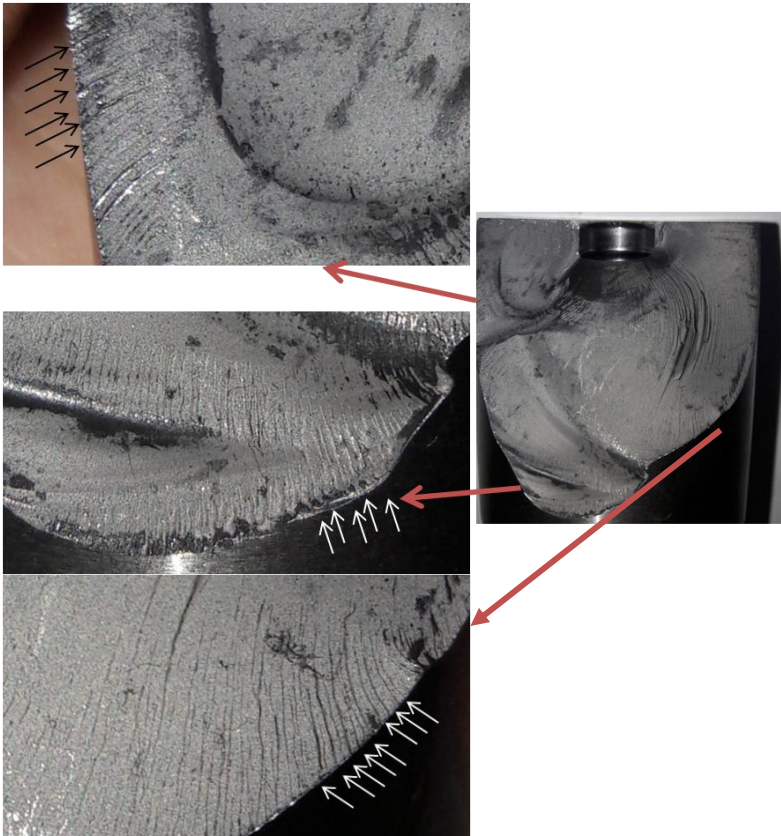
Patahan *die* beserta profil permukaan patahan ditunjukkan pada Gambar 4.7 hingga 4.10. Hasil pengamatan terhadap permukaan patahan ditunjukkan pada Gambar 4.7.



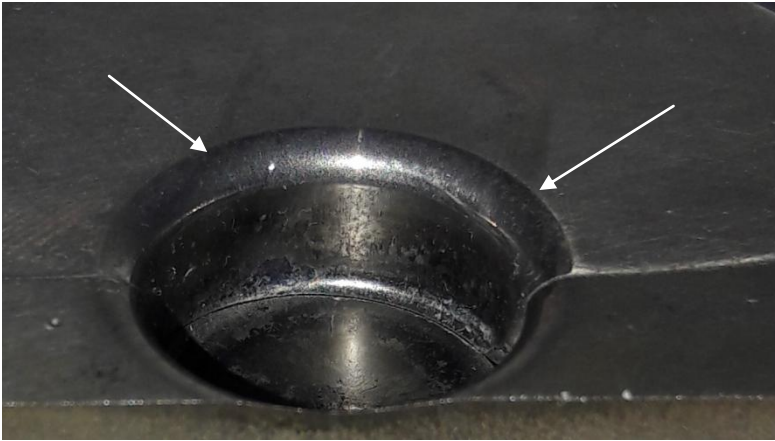
Gambar 4.7 Permukaan patahan dengan profil patahan yang menunjukkan *die* patah 14 hari yang mengalami *fatigue fracture* yang ditandai oleh adanya *beach marks*. Daerah *final fracture* ditandai oleh anak panah hitam.



Gambar 4.8 Permukaan patahan *die* patah 14 hari. (a) Tanda berbentuk lingkaran yang berada di permukaan atas *die* sekitar lubang cetakan. (b) Daerah konsentrasi tegangan yang ditunjukkan oleh panah merah. Terdapat *chipping* pada permukaan atas *die*. (c) Permukaan patahan *die* patah 14 hari.



Gambar 4.9 Permukaan patahan dengan profil patahan yang menunjukkan *die* patah 14 hari mengalami patah *brittle*.



Gambar 4.10 Permukaan atas lubang *die* patah 14 hari yang membekas akibat *zinc blank* yang tidak masuk sempurna sehingga sebagian *zinc blank* menekan sisi lubang *die* yang ditunjukkan dengan anak panah putih.

Hasil pengamatan menunjukkan permukaan *die* terbagi menjadi tiga daerah utama yaitu daerah *crack initiation*, *crack propagation* dan *final fracture*. Terdapat 2 *crack initiation* dan *ratchet mark* yang ditunjukkan pada Gambar 4.7. Berdasarkan tabel 2.6, adanya *ratchet mark* merupakan indikasi kuat adanya pembebanan siklik dan indikator penting untuk menentukan lokasi dari *crack initiation*. Gambar 4.8a menunjukkan tanda berbentuk lingkaran yang berada di permukaan atas *die* sekitar lubang cetakan. Diameter lingkaran tersebut sama dengan diameter dari *zinc blank*. Tanda tersebut diakibatkan oleh *zinc blank* panas yang membekas pada permukaan atas *die*. Hal ini diperkuat dengan adanya bekas pada permukaan atas *die* yang ditunjukkan pada Gambar 4.10. *Zinc blank* yang tidak masuk kedalam lubang *die* secara sempurna seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.8a panah hitam menyebabkan *punch* hanya menekan *blank* yang masuk ke daerah pukulan. Lubang *die* kemudian hanya mengalami tekanan pada sisi tersebut. Hal ini



mengakibatkan konsentrasi tegangan yang menyebabkan *crack initiation* terbentuk. Konsentrasi tegangan ini menyebabkan *chipping* pada permukaan atas *die* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.8b. Fenomena *zinc blank* yang tidak masuk kedalam lubang cetakan ini sering terjadi seperti tanda lainnya yang terlihat di permukaan atas *die* seperti ditunjukkan pada Gambar 4.8a panah biru.

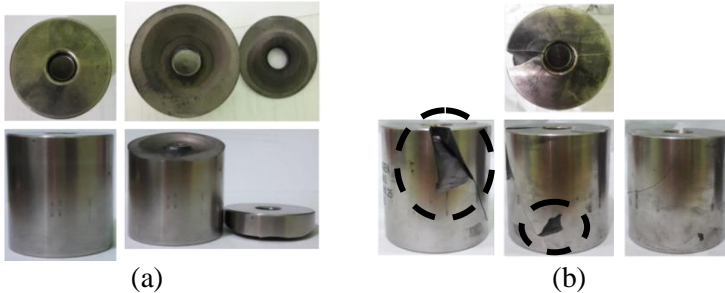
Daerah *crack propagation* ditunjukan pada Gambar 4.7 yang ditandai dengan adanya *beach marks*. Daerah *crack propagation* memiliki permukaan yang lebih halus daripada sekitarnya <sup>(13)</sup>. Daerah *final fracture* merupakan daerah yang ditandai oleh panah-panah hitam pada Gambar 4.7. Panah-panah hitam tersebut merupakan *chevron marks* yang menunjukkan arah perambatan retak yang terjadi secara cepat ketika daerah kritis (luasan minimum yang dapat menahan beban sebelum patah) sudah tidak mampu menahan beban yang diberikan. *Die* mengalami patah getas yang ditandai oleh adanya butir butir terang pada permukaan patahan yang ditunjukkan pada Gambar 4.9.

Adanya *ratchet mark* menunjukkan adanya fenomena *multiple crack initiation*. Hal ini terjadi akibat adanya tegangan yang besar <sup>(13)</sup>. Tegangan yang besar tersebut menyebabkan daerah *final fracture* pada *die* lebih luas daripada daerah *fatigue crack propagation*. Beban yang besar akan menyebabkan luasan sisa yang besar dan menjadi daerah *final fracture*. Waktu perambatan retak yang pendek (akibat beban yang besar) menyebabkan daerah *crack propagation* lebih kecil daripada daerah *final fracture*. Perbandingan luas daerah antara *crack propagation* dengan *final fracture* menunjukkan bahwa *die* mengalami *low cycle fatigue fracture*.

#### **4.4.2 Die patah wajar 30 hari**

Pengamatan visual dilakukan untuk mengamati kondisi keseluruhan *die* yang rusak. Kondisi dari *die* ditunjukkan pada Gambar 4.11 hingga 4.16. Gambar 4.11 menunjukkan kondisi

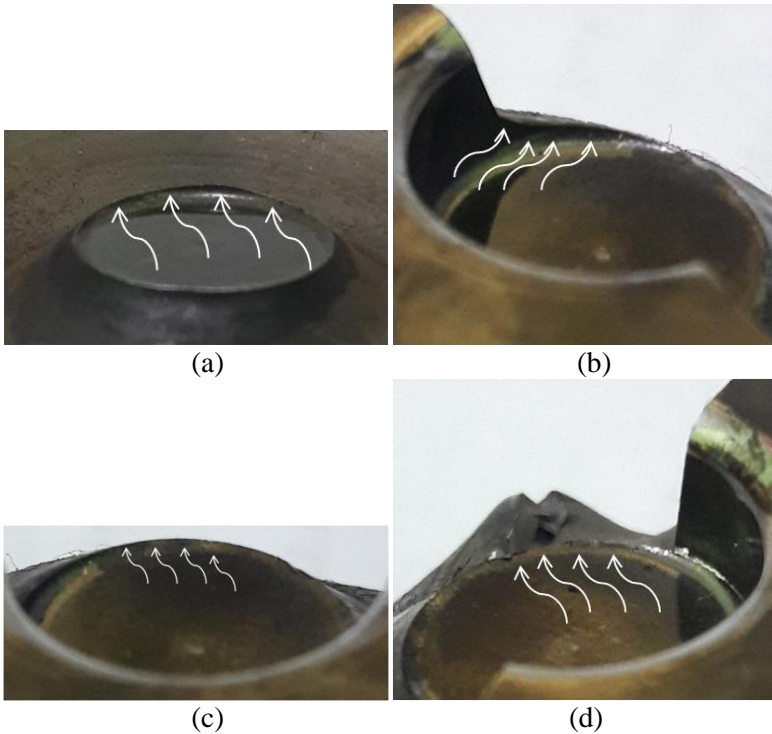
visual *die* yang mengalami patah wajar 30 hari. Terdapat dua sampel untuk dilakukan observasi.



Gambar 4.11 Kondisi *die* yang mengalami patah wajar 30 hari.  
(a) Sampel 1 (b) Sampel 2, lingkaran hitam menunjukkan lokasi *die* yang patah menjadi potongan yang besar.

Hasil pengamatan permukaan luar *die* terlihat bahwa sampel 1 tidak terdapat material yang terpecah-pecah menjadi potongan-serpihan yang kecil sedangkan sampel 2 mengalami patahan terpecah-pecah yang lebih besar. Hal ini terjadi akibat material yang getas. Permukaan luar *die* sebelumnya sudah ditunjukkan pada Gambar 4.11 dengan lingkaran hitam untuk memperjelas lokasi dari patah menjadi potongan besar pada sampel 2.

Permukaan atas *die* pada daerah lubang cetakan menunjukkan permukaan yang tidak rata yang ditunjukkan pada Gambar 4.12. Hal ini terjadi pada seluruh tepi lubang yang mengalami patah. Perbedaan ketinggian patahan pada lubang mengindikasikan terjadi patah ulet pada daerah lubang tersebut.



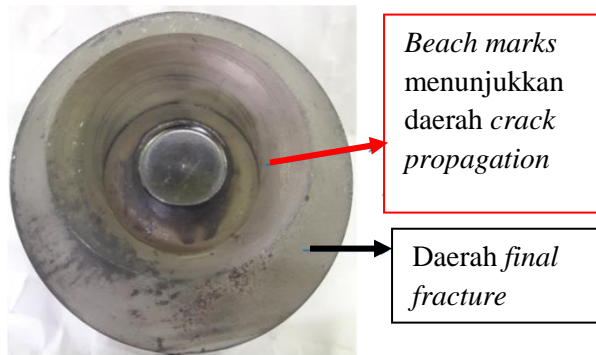
Gambar 4.12 Permukaan luar lubang *die* patah wajar 30 hari yang patah tidak rata (a) Sampel 1. (b) Sampel 2 tampak samping kiri. (c) Sampel 2 tampak depan. (d) Sampel 2 tampak samping kanan.

### Permukaan Patahan Sampel 1

Patahan *die* beserta profil permukaan patahan ditunjukkan pada Gambar 4.13 dan 4.14. Hasil pengamatan terhadap permukaan patahan 1 ditunjukkan pada Gambar 4.14.



Gambar 4.13 Dua permukaan patahan *die* patah wajar 30 hari dipisah.

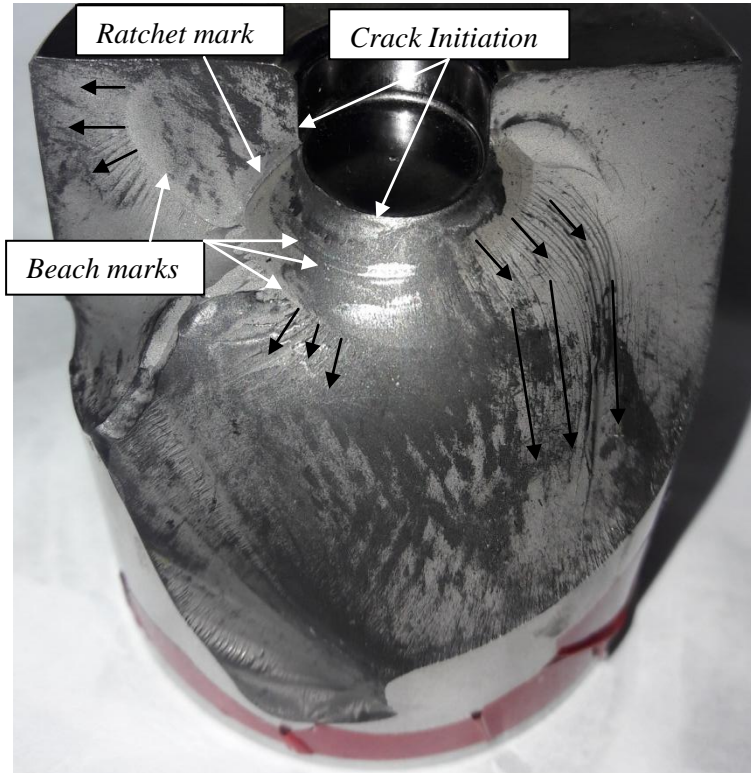


Gambar 4.14 Permukaan patahan dengan profil patahan yang menunjukkan *die* patah wajar 30 hari yang mengalami *fatigue fracture*.

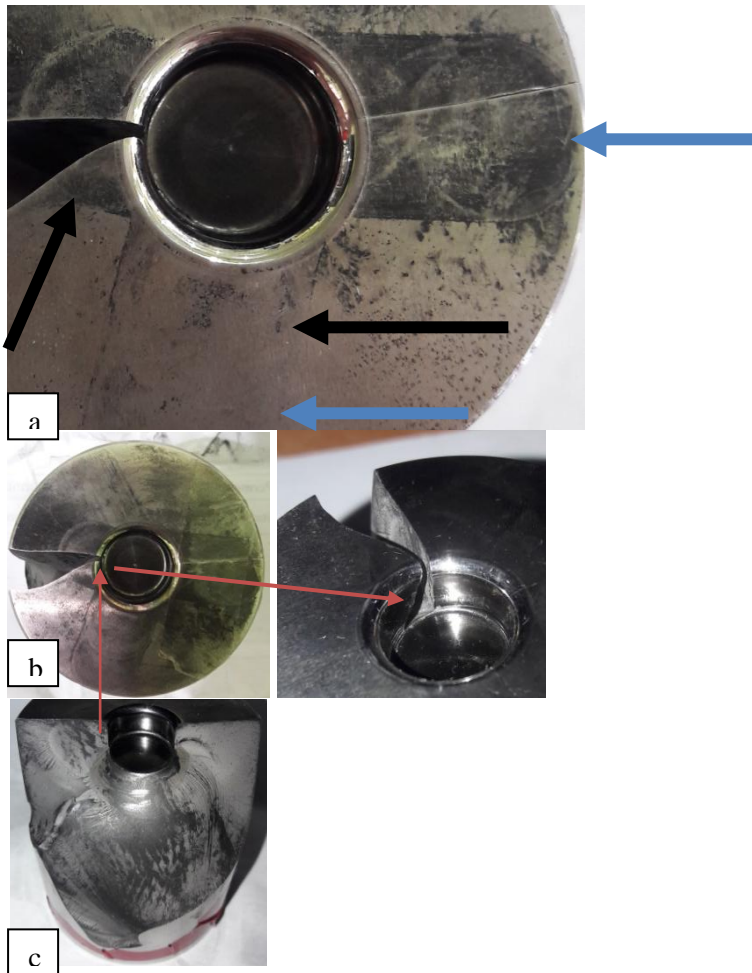
Hasil pengamatan menunjukkan permukaan *die* terbagi menjadi tiga daerah utama yaitu daerah *crack initiation*, *crack propagation* dan daerah *final fracture*. *Crack initiation* berada di area lubang *die*. Daerah *crack propagation* yang ditunjukkan oleh panah merah pada Gambar 4.14. Daerah *crack propagation* ditandai dengan adanya *beach mark* <sup>(13)</sup>. Daerah *final fracture* merupakan daerah yang ditunjukkan oleh panah hitam pada Gambar 4.14. Berdasarkan tabel 2.6, adanya *beach marks* berupa tanda kuat adanya pembebanan siklik. *Die* mengalami *fatigue fracture*.

## Permukaan Patahan Sampel 2

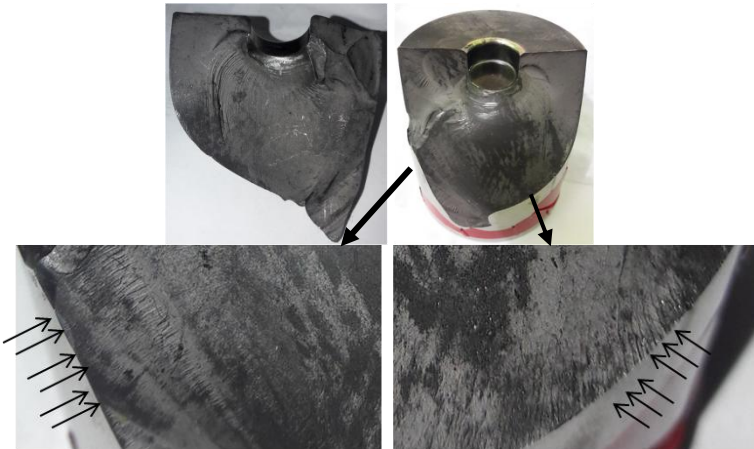
Patahan *die* beserta profil permukaan patahan ditunjukkan pada Gambar 4.15 dan 4.16. Hasil pengamatan terhadap permukaan patahan 1 ditunjukkan pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15 Permukaan patahan dengan profil patahan yang menunjukkan *die* patah 30 hari yang mengalami *fatigue fracture* yang ditandai oleh adanya *beach marks*. Daerah *final fracture* ditandai oleh anak panah hitam.



Gambar 4.16 Permukaan patahan *die* patah 30 hari. (a) Tanda berbentuk lingkaran yang berada di permukaan atas *die* sekitar lubang cetakan. (b) Daerah konsentrasi tegangan yang ditunjukkan oleh panah merah. Terdapat *chipping* pada permukaan atas *die*. (c) Permukaan patahan *die* patah 30 hari.



Gambar 4.17 Permukaan patahan dengan profil patahan yang menunjukkan *die* patah 30 hari mengalami patah *brittle*.



Gambar 4.18 Permukaan atas lubang *die* patah 30 hari yang membekas akibat *zinc blank* yang tidak masuk sempurna sehingga sebagian *zinc blank* menekan sisi lubang *die* yang ditunjukkan dengan anak panah putih.

Hasil pengamatan menunjukkan permukaan *die* terbagi menjadi tiga daerah utama yaitu daerah *crack initiation*, *crack propagation* dan *final fracture*. Terdapat 2 *crack initiation* dan *ratchet mark* yang ditunjukkan pada Gambar 4.15. Berdasarkan tabel 2.6, adanya *ratchet mark* merupakan indikasi kuat adanya pembebanan siklik dan indikator penting untuk menentukan lokasi dari *crack initiation*. Gambar 4.16a menunjukkan tanda berbentuk lingkaran yang berada di permukaan atas *die* sekitar lubang cetakan. Diameter lingkaran tersebut sama dengan diameter dari *zinc blank*. Tanda tersebut diakibatkan oleh *zinc blank* panas yang membekas pada permukaan atas *die*. Hal ini diperkuat dengan adanya bekas pada permukaan atas *die* yang ditunjukkan pada Gambar 4.18. *Zinc blank* yang tidak masuk kedalam lubang *die* secara sempurna seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.16a panah hitam menyebabkan *punch* hanya menekan *blank* yang masuk ke daerah pukulan. Lubang *die* kemudian hanya mengalami tekanan pada sisi tersebut. Hal ini mengakibatkan konsentrasi tegangan yang menyebabkan *crack initiation* terbentuk. Konsentrasi tegangan ini menyebabkan *chipping* pada permukaan atas *die* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.16b. Fenomena *zinc blank* yang tidak masuk kedalam lubang cetakan ini sering terjadi seperti tanda lainnya yang terlihat di permukaan atas *die* seperti ditunjukkan pada Gambar 4.16a panah biru.

Daerah *crack propagation* ditunjukan pada Gambar 4.15 yang ditandai dengan adanya *beach marks*. Daerah *crack propagation* memiliki permukaan yang lebih halus daripada sekitarnya <sup>(13)</sup>. Daerah *final fracture* merupakan daerah yang ditandai oleh panah-panah hitam pada Gambar 4.15. Panah-panah hitam tersebut merupakan *chevron marks* yang menunjukkan arah perambatan retak yang terjadi secara cepat ketika daerah kritis (luasan minimum yang dapat menahan beban sebelum patah) sudah tidak mampu menahan beban yang diberikan. *Die* mengalami patah getas yang ditandai oleh adanya



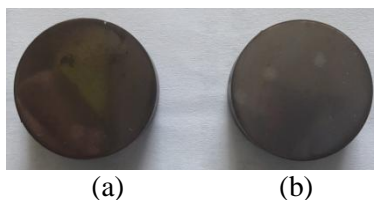
butir butir terang pada permukaan patahan yang ditunjukkan pada Gambar 4.17.

Adanya *ratchet mark* menunjukkan adanya fenomena *multiple crack initiation*. Hal ini terjadi akibat adanya tegangan yang besar <sup>(13)</sup>. Tegangan yang besar tersebut menyebabkan daerah *final fracture* pada *die* lebih luas daripada daerah *fatigue crack propagation*. Beban yang besar akan menyebabkan luasan sisa yang besar dan menjadi daerah *final fracture*. Waktu perambatan retak yang pendek (akibat beban yang besar) menyebabkan daerah *crack propagation* lebih kecil daripada daerah *final fracture*. Perbandingan luas daerah antara *crack propagation* dengan *final fracture* menunjukkan bahwa *die* mengalami *low cycle fatigue fracture*.

#### 4.4 Pengamatan Mikroskopik

##### 4.4.1 Metalografi

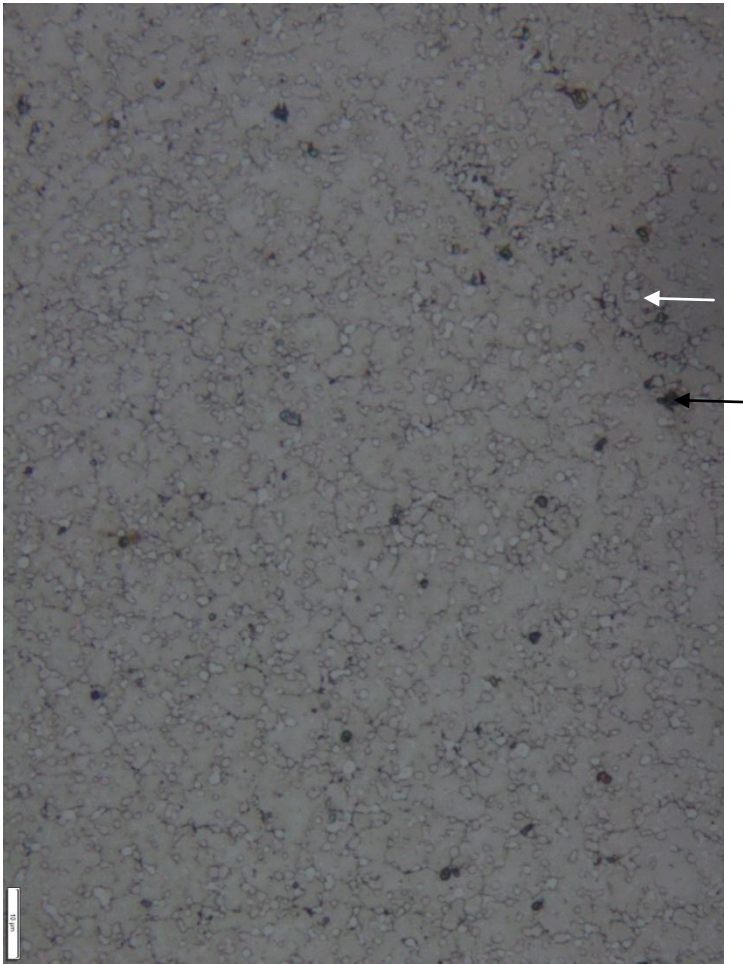
Analisa metalografi dilakukan untuk mengetahui struktur mikro dari sampel *die* patah 14 hari dan *die* patah wajar 30 hari. *Die* dipotong melintang untuk sampel dengan ketebalan 10 mm dari bagian bawah *die* dengan diameter 20 mm seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.17. Pengamatan dilakukan dibawah mikroskop dengan menggunakan larutan etsa 5% nital.



Gambar 4.19 Sampel untuk metalografi. (a) Sampel *die* patah 14 hari (b) Sampel *die* patah wajar 30 hari.

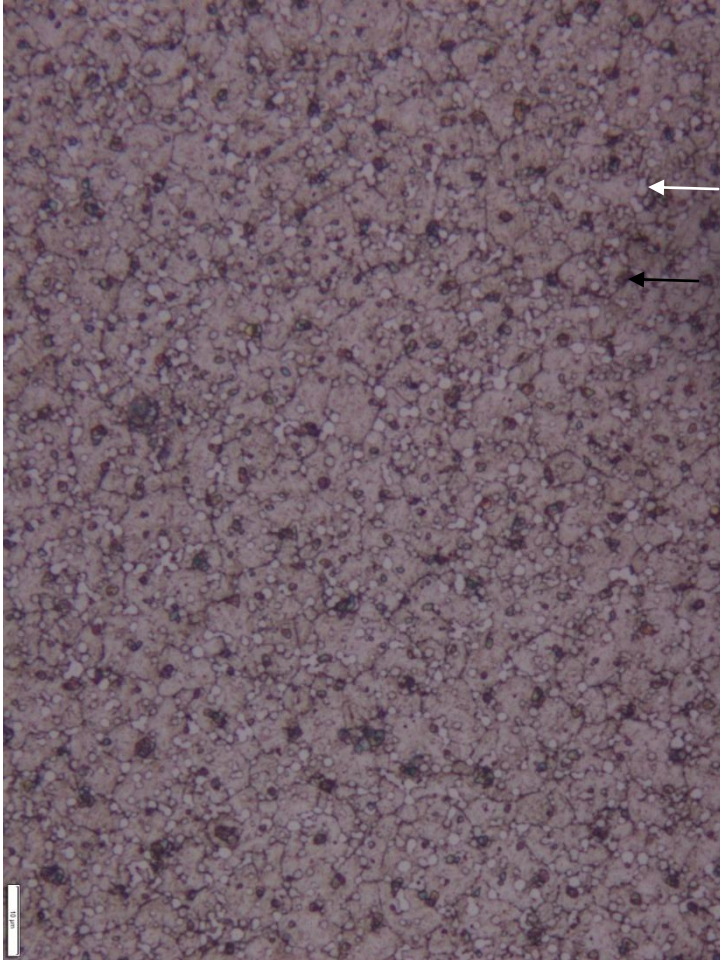
Struktur mikro *die* patah 14 hari dan 30 hari dengan perbesaran 100x ditunjukkan pada Gambar 4.18. Berdasarkan teori, terlihat bahwa kedua *die* memiliki struktur mikro *powder metallurgy* yang menghasilkan paduan dengan struktur mikro

sangat halus disertai karbida yang terdistribusi secara merata <sup>(12)</sup>. Karbida berwarna hitam yang ditunjukkan dengan panah hitam pada Gambar 4.18 merupakan *V-rich MC carbide* dan karbida berwarna putih yang ditunjukkan dengan panah putih pada Gambar 4.18 merupakan *W-rich M<sub>6</sub>C carbide* <sup>(9)</sup>. Berdasarkan Tabel 2.1, kedua karbida tersebut merupakan karbida yang keras dan stabil yang meningkatkan ketahanan aus.



(a)

Struktur mikro *die* dengan perbesaran 100x. Panah putih menunjukkan *W-rich*  $M_6C$  carbide sedangkan panah hitam menunjukkan *V-rich*  $MC$  carbide. (a) *Die* patah 14 hari.



(b)

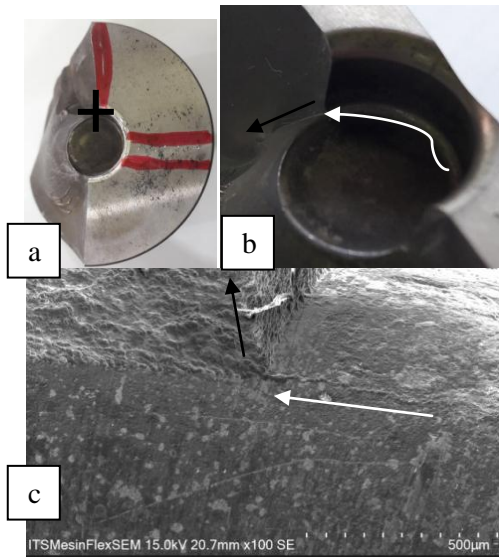
Gambar 4.20 Struktur mikro *die* dengan perbesaran 100x. Panah putih menunjukkan *W-rich*  $M_6C$  carbide sedangkan panah hitam menunjukkan *V-rich*  $MC$  carbide. (b) *Die* patah 30 hari.

Terlihat bahwa jumlah karbida berwarna hitam *V-rich MC carbide* yang terdapat pada *die* patah 14 hari berjumlah lebih sedikit dibandingkan yang terdapat pada *die* patah wajar 30 hari. *High speed steel* dengan persentase *V-rich MC carbide* yang lebih tinggi menunjukkan ketahanan aus yang lebih baik <sup>(12)</sup>. Hal ini menunjukkan bahwa *die* patah 14 hari memiliki ketahanan aus yang lebih rendah dibandingkan dengan *die* patah 30 hari.

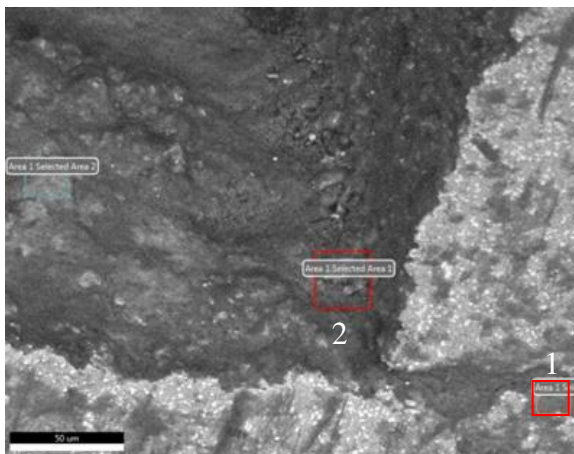
#### **4.4.2 Daerah *crack initiation***

Pengamatan dilakukan di daerah *crack initiation die* patah 14 hari. Sampel sebelumnya dibersihkan dengan alcohol 96% untuk menghilangkan kotoran pada permukaan patahannya. Peletakan sampel pada SEM (*Scanning Electron Microscope*) dengan posisi pengamatan seperti yang ditunjukkan tanda plus hitam pada Gambar 4.19a. Hasil SEM ditunjukkan pada Gambar 4.19 c. Arah perambatan retak ditunjukkan dengan anak panah. *Crack* dimulai dari dasar lubang cetakan yang ditandai oleh panah putih pada Gambar 4.19b dan 4.19c. *Crack* ini berupa *microcrack* yang tidak terlihat secara makro. *Crack* kemudian merambat tegak lurus kearah dalam yang ditandai oleh panah hitam. *Crack* ini terlihat secara jelas pada permukaan patahan.

Daerah *crack initiation* tersebut kemudian dilakukan uji EDS (*Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy*) di 2 area untuk mengetahui komposisi kimianya. Posisi kedua area yang diuji ditunjukkan pada Gambar 4.20.

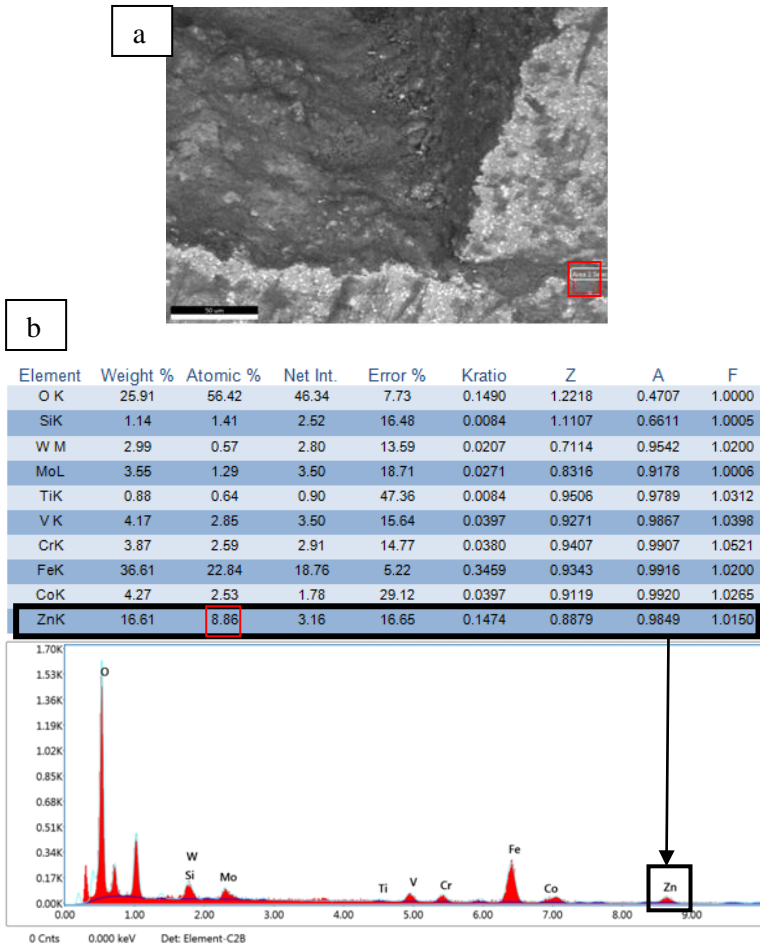


Gambar 4.21 Daerah *crack initiation* yang diamati dengan SEM.



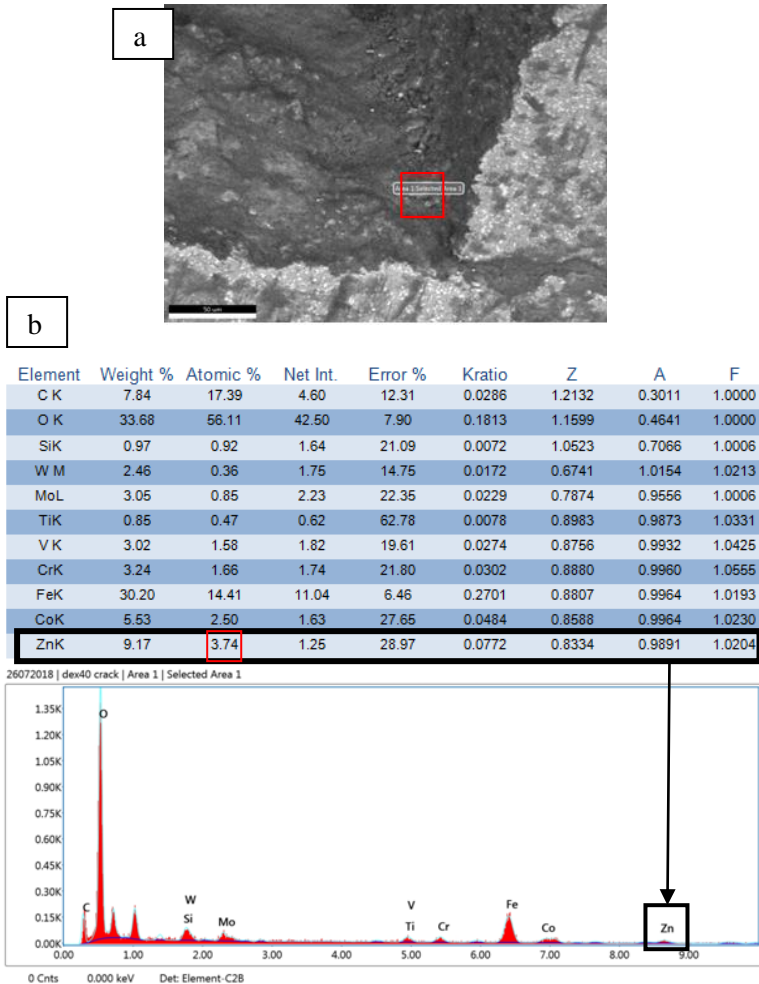
Gambar 4.22 Daerah di sekitar *crack initiation* dilakukan uji EDS dilakukan di 2 area yang ditunjukkan dengan kotak merah. Penomoran ditunjukkan untuk mempermudah penamaan.

## EDS Area 1



Gambar 4.23 Hasil EDS area 1. (a) Lokasi uji EDS pada awal *microcrack* yang ditandai dengan kotak merah. (b) Terdapat unsur *zinc* didalam retakan yang ditandai dengan panah hitam dengan jumlah sebesar 8,86%.

## EDS Area 2



Gambar 4.24 Hasil EDS area 2. (a) Lokasi uji EDS pada *macrocrack* yang ditandai dengan kotak merah. (b) Terdapat unsur *zinc* didalam retakan yang ditandai dengan panah hitam dengan jumlah sebesar 3,74%.



Lokasi EDS untuk area 1 ditunjukkan pada Gambar 4.21a. Area 1 merupakan area dimana *microcrack* bermula. Hasil EDS pada area ini ditunjukkan pada Gambar 4.21b. Berdasarkan hasil EDS, terdapat unsur *zinc* (Zn) di dalam retakan berjumlah 8,86 %. Hal ini menunjukkan bahwa ketika *microcrack* telah terbentuk, terdapat unsur *zinc* yang berasal dari *zinc blank* yang masuk kedalam retak. *Zinc* yang masuk ini mengisi retakan tersebut sehingga ketika diberi tekanan operasi dapat membuat retak semakin besar.

Lokasi EDS untuk area 2 ditunjukkan pada Gambar 4.22a. Area 2 merupakan area rambatan *crack* lanjutan yang terlihat secara makro di permukaan patahan. Hasil EDS pada area ini ditunjukkan pada Gambar 4.21b. Berdasarkan hasil EDS, terdapat unsur *zinc* (Zn) di dalam retakan berjumlah 3,74 %. Hal ini menunjukkan bahwa unsur *zinc* yang telah masuk dari *microcrack* terus masuk kedalam *crack* yang dalam. *Zinc* tersebut terus mengisi *crack* tersebut sehingga ketika diberi tekanan operasi dapat membuat retak semakin besar.

#### 4.5 Ringkasan Analisa

Analisa kegagalan pada *die* yang patah 14 hari menunjukkan bahwa *die* mengalami *low cycle fatigue fracture*. akibat beban yang besar ditandai dengan adanya *ratchet marks* dan daerah *crack propagation* yang lebih kecil dari daerah *final fracture*. Konsentrasi tegangan diakibatkan oleh *blank* yang tidak masuk sempurna kedalam lubang cetakan dan membuat lubang mengalami tekanan lokal berlebih pada satu sisi sehingga timbul *crack initiation*. Daerah *crack initiation* diamati lebih lanjut dan ditemukan *microcrack* pada daerah lubang *die* sebagai awal mula *crack*. Dalam retakan ditemukan unsur *zinc*. *Zinc* tersebut mengisi retakan dan mempercepat retakan merambat. *Die* yang mengalami patah 14 hari memiliki material yang komposisi kimianya tidak sesuai dengan standar DEX 40. *Die* memiliki kekerasan dibawah nilai kekerasan maksimalnya dan tidak merata.

Analisa kegagalan pada *die* yang patah 30 hari menunjukkan bahwa *die* mengalami *fatigue fracture* ditandai dengan adanya *beach marks* pada daerah *crack propagation*. Konsentrasi tegangan diakibatkan oleh *blank* yang tidak masuk sempurna kedalam lubang cetakan dan membuat lubang mengalami tekanan lokal berlebih pada satu sisi sehingga timbul *crack initiation*. *Die* yang mengalami patah 30 hari memiliki material yang komposisi kimianya sesuai dengan standar DEX 40. *Die* memiliki kekerasan dibawah nilai kekerasan maksimalnya dan tidak merata.

Kesimpulan dari seluruh analisa yang telah dilakukan didapat bahwa kegagalan terjadi akibat pengaruh proses operasi yang kurang benar. *Blank* yang tidak masuk sempurna kedalam lubang cetakan membuat lubang *die* mengalami tekanan lokal berlebih pada satu sisi sehingga timbul *crack initiation*. *Crack initiation* yang terjadi lebih dahulu pada *die* patah 14 hari dibandingkan dengan *die* patah 30 hari menyebabkan *die* mengalami patah lebih awal dari umur yang seharusnya (30 hari).

## BAB V KESIMPULAN

### 5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan yaitu :

1. Permukaan patahan menunjukkan *die* mengalami *low cycle fatigue fracture*. Adanya *ratchet mark* menunjukkan terjadinya fenomena *multiple crack initiation*. Hal ini terjadi akibat adanya tegangan yang besar. Tegangan yang besar tersebut menyebabkan daerah *final fracture* pada *die* lebih luas daripada daerah *fatigue crack propagation*.
2. *Die* mengalami patah lebih awal (14 hari) dari waktu wajarnya (30 hari) diakibatkan oleh proses operasi yang kurang benar . *Blank* yang tidak masuk sempurna kedalam lubang cetakan membuat lubang *die* mengalami tekanan lokal berlebih pada satu sisi sehingga timbul *crack initiation*. *Crack initiation* yang terjadi lebih dahulu pada *die* patah 14 hari dibandingkan dengan *die* patah 30 hari menyebabkan *die* mengalami patah lebih awal dari umur yang seharusnya (30 hari).

### 5.2 Saran

Saran-saran yang diberikan untuk mencegah terjadinya kerusakan serupa antara lain :

1. Komponen-komponen lain seperti *zinc blank* yang sekiranya berhubungan dengan komponen yang rusak sebaiknya juga disimpan sehingga analisa kegagalan dapat dilakukan dengan lebih teliti dengan mengamati kondisi komponen-komponen yang berhubungan.
2. Untuk penelitian lebih lanjut, perlu dilakukan analisa gaya dan perlakuan panas yang lebih detail pada komponen-komponen untuk mengetahui seberapa besar pengaruhnya pada komponen-komponen yang rusak.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR PUSTAKA

1. **Linden, David, Thomas B. Reddy.** *Linden's Handbook of Batteries 4th Edition.* United States of America : McGraw-Hill Companies, 2011.
2. **ASM Handbook Committee.** *Hardness Testing : Principles and Applications.* United States of America : ASM International, 2011.
3. **Newton, David E.** *Chemical Elements, 2nd Edition.* United States : Gale, Cengage Learning, 2010.
4. **Vincent, Colin A, Bruno Scrosati.** *Modern Batteries : An Introduction to Electrochemical Power Sources 2nd Edition.* Oxford : Butterworth-Heinemann, 1997.
5. <https://uni-sincerity.en.made-in-china.com/product/veIJACNFepWY/China-Battery-Raw-Material-Zinc-Can.html>. [Online] [Cited: April 22, 2018.]
6. **Kalpakjian, Serope, Steven R. Shmid, Hamidon Musa.** *Manufacturing Engineering and Technology 6th Edition in SI Units.* Singapore : Prentice Hall, 2009.
7. **Suchy, Ivana.** *Handbook of Die Design.* United States of America : Mc-Graw Hill Companies, 2009.
8. **ASM Handbook Committee.** *ASM Handbook Vol 16 : Machining.* United States of America : ASM International, 1999.
9. **P. Beiss, R. Ruthardt, H. Warlimont.** *Powder Metallurgy Data Part 1 : Metal and Magnets.* Germany : Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2003.
10. **ASM Handbook Committee.** *ASM Handbook Vol 04 : Heat Treating.* United States of America : ASM International, 1991.
11. —. *ASM Handbook Vol 01, Properties and Selection : Irons, Steels and High-Performance Alloys.* United States of America : ASM International, 1993.

12. —. *ASM Handbook Vol 7 : Powder Metal Technologies and Applications*. United States of America : ASM International, 1998.
13. —. *ASM Metal Handbook Vol 11 : Failure Analysis and Prevention*. United States of America : ASM International, 2002.
14. —. *ASM Speciality Handbook : Tool Materials*. United States of America : ASM International, 1998.
15. —. *ASM Handbook Vol 19 : Fatigue and Fracture*. United States of America : ASM International, 1996.
16. —. *ASM Handbook Vol 12 : Fractography*. United States of America : ASM International, 1992.
17. *Preliminary Examination of the Fracture Surfaces of Cold Working Die*. **Statharas, D. dkk.** 2008, International Journal of Material Forming 1, pp. 411-414.
18. *Failure Analysis of a Cold-Extrusion Punch to Enhance its Quality and Prolong its Life*. **Yi-Che Lee, Fuh-Kuo Chen.** 1999, Journal of Material Processing Technology 105 (2000), pp. 134-142.
19. **George Roberts, George Krauss, Richard Kennedy,.** *Tool Steels : 5th Edition*. United States of America : ASM International, 1998.
20. **Mesquita, Rafael A.** *Tool Steels : Properties and Performance*. London : CRC Press, 2017.

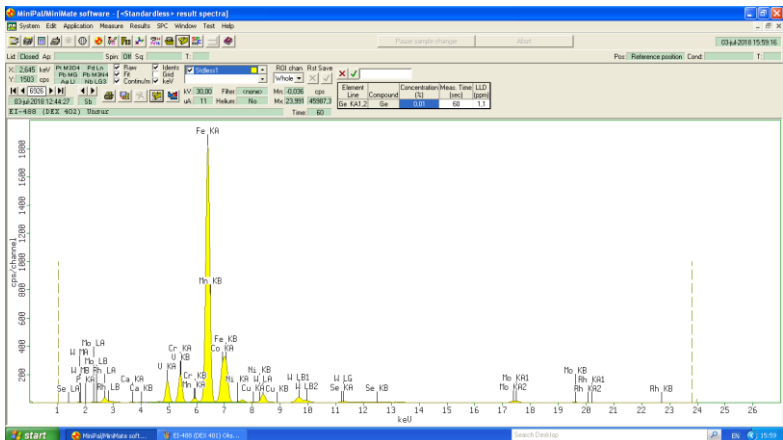
## LAMPIRAN

### Hasil XRF : Komposisi *Die* patah 14 hari.

#### 2. DEX 402 (Berat : 25,1989 gram).

Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit
P	0.2	0%	P	0.2	0%
Ca	0.17	0%	Ca	0.16	0%
V	5.02	0%	V	5	0%
Cr	4.68	0%	Cr	4.66	0%
Mn	0.33	0%	Mn	0.32	0%
Fe	66.23	0%	Fe	66.22	0%
Co	7.77	0%	Co	7.82	0%
Ni	0.02	0%	Ni	0.03	0%
Cu	0.16	0%	Cu	0.16	0%
Se	0.03	0%	Se	0.02	0%
Mo	2.53	0%	Mo	2.52	0%
W	12.8	0%	W	12.8	0%
Si	No intensity		Si	0.1	0%
S	No intensity		S	No intensity	

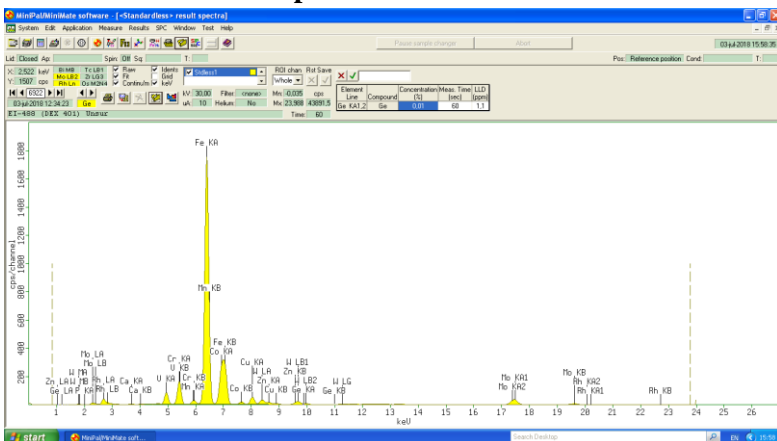
### Hasil XRF : Unsur *Die* patah 14 hari.



### Hasil XRF : Komposisi *Die* patah 30 hari.

Hasil					
1. DEX 401 (Berat : 25,1164 gram).					
Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit
P	0.2	0%	P	0.2	0%
Ca	0.18	0%	Ca	0.17	0%
V	2.92	0%	V	2.97	0%
Cr	4.19	0%	Cr	4.19	0%
Mn	0.3	0%	Mn	0.28	0%
Fe	66.03	0%	Fe	65.99	0%
Co	7.99	0%	Co	8	0%
Cu	2.91	0%	Cu	2.83	0%
Zn	0.87	0%	Zn	0.85	0%
Ge	0.01	0%	Ge	0.01	0%
Mo	6.99	0%	Mo	7.01	0%
W	7.45	0%	W	7.43	0%
Si	No intensity		Si	0.1	0%
S	No intensity		S	No intensity	
Ni	No intensity		Ni	No intensity	

### Hasil XRF : Unsur *Die* patah 30 hari.





### Hasil Spektrometer : Die patah 14 hari

 <b>PPNS</b> POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA		<b>Laboratorium Uji Bahan</b>		No. Dok	:	F:08-LUB-PPNS
		FORMULIR HASIL PENGUJIAN KOMPOSISI KIMIA (CHEMICAL COMPOSITION ANALYSIS)		No. Rev	:	1
				Tanggal	:	22/05/2018
						Halaman

### OPTICAL EMISSION SPECTROSCOPY RESULT

Sample ID : DEX 40.2

Customer : AYUNISA FITRIANA TEK-MESIN ITS

Lab. no. : LAB. UJI BAHAN

Operator : AGUS

Ka. Lab. : M. THORIQ W.

Material : CARBON STEEL

Dimension : DIA. 48.01 mm

Heat No. : -

Tanggal : 7/23/2018

Program : FE\_250

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
1	88.0	2.05	0.689	0.336	0.0460	0.0294	5.69	2.48
2	88.1	2.01	0.641	0.331	0.0483	0.0277	5.65	2.49
3	88.1	2.01	0.659	0.332	0.0460	0.0247	5.69	2.41
Ave	88.1	2.03	0.663	0.333	0.0468	0.0273	5.68	2.46

	Ni	Cu
1	0.556	0.0774
2	0.563	0.0786
3	0.553	0.0830
Ave	0.557	0.0797

Operator,

(.....)

Operator,

## Hasil EDS\



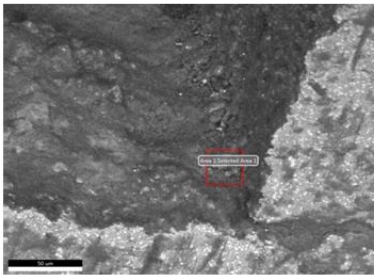
EDAX APEX

Page 1

26072018

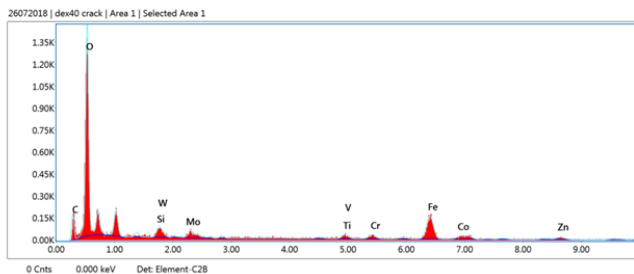
Author: Teknik Mesin FTI - ITS  
Creation: 07/26/2018 9:42:29 AM  
Sample Name: dex40 crack

### Area 1



## Selected Area 1

kV: 15      Mag: 500      Takeoff: 30      LiveTime(s): 200      Amp Time(μs): 3.84      Resolution(eV): 129.4



## Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %	Kratio	Z	A	F
C K	7.84	17.39	4.60	12.31	0.0286	1.2132	0.3011	1.0000
O K	33.68	56.11	42.50	7.90	0.1813	1.1599	0.4641	1.0000
Si K	0.97	0.92	1.64	21.09	0.0072	1.0523	0.7066	1.0006
W M	2.46	0.36	1.75	14.75	0.0172	0.6741	1.0154	1.0213
Mo L	3.05	0.85	2.23	22.35	0.0229	0.7874	0.9556	1.0006
Ti K	0.85	0.47	0.62	62.78	0.0078	0.8983	0.9873	1.0331
V K	3.02	1.58	1.82	19.61	0.0274	0.8756	0.9932	1.0425
Cr K	3.24	1.66	1.74	21.80	0.0302	0.8880	0.9960	1.0555
Fe K	30.20	14.41	11.04	6.46	0.2701	0.8807	0.9964	1.0193
Co K	5.53	2.50	1.63	27.65	0.0484	0.8588	0.9964	1.0230
Zn K	9.17	3.74	1.25	28.97	0.0772	0.8334	0.9891	1.0204

## Hasil EDS



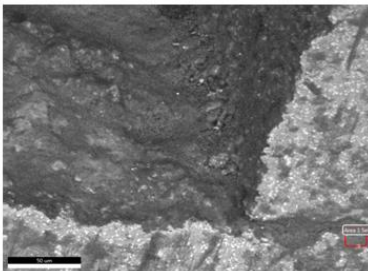
EDAX APEX

Page 1

26072018

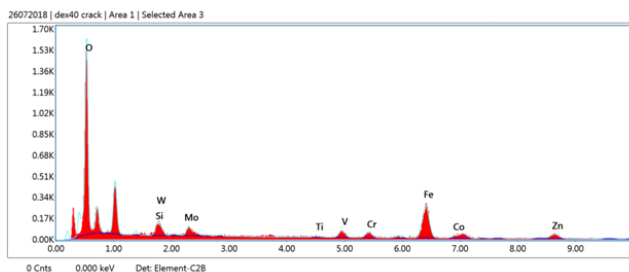
Author: Teknik Mesin FTI - ITS  
Creation: 07/26/2018 9:49:20 AM  
Sample Name: dex40 crack

### Area 1



## Selected Area 3

kV: 15      Mag: 500      Takeoff: 30      Live Time(s): 200      Amp Time(μs): 3.84      Resolution(eV): 129.4



## Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %	Kratio	Z	A	F
O K	25.91	56.42	46.34	7.73	0.1490	1.2218	0.4707	1.0000
SiK	1.14	1.41	2.52	16.48	0.0084	1.1107	0.6611	1.0005
W M	2.99	0.57	2.80	13.59	0.0207	0.7114	0.9542	1.0200
MoL	3.55	1.29	3.50	18.71	0.0271	0.8316	0.9178	1.0006
TiK	0.88	0.64	0.90	47.36	0.0084	0.9506	0.9789	1.0312
V K	4.17	2.85	3.50	15.64	0.0397	0.9271	0.9867	1.0398
CrK	3.87	2.59	2.91	14.77	0.0380	0.9407	0.9907	1.0521
FeK	36.61	22.84	18.76	5.22	0.3459	0.9343	0.9916	1.0200
CoK	4.27	2.53	1.78	29.12	0.0397	0.9119	0.9920	1.0265
ZnK	16.61	8.86	3.16	16.65	0.1474	0.8879	0.9849	1.0150

## BIODATA PENULIS



Ayunisa Fitriani Jilan merupakan nama lengkap dari penulis tugas akhir ini. Penulis yang lahir di Sukabumi pada 9 September 1997 ini merupakan anak pertama dari pasangan Bapak Bambang Irawan dan Ibu Inna Nisawati. Penulis memulai pendidikan formal di TK Islam Al-Azhar 12 Cikarang kemudian melanjutkan ke SD Islam Al-Azhar 12 Cikarang. Setelah lulus, penulis melanjutkan ke SMP Islam Al-Azhar 16 Cikarang dan kemudian melanjutkan ke SMA Negeri

1 Tambun Selatan pada tahun 2012. Setelah menyelesaikan studi tingkat menengah atas, penulis menempuh pendidikan di Jurusan S1 Teknik Mesin di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan NRP 02111440000011. Penulis mengambil bidang metalurgi.